

# AP 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

*User Navigating Method for Access Point Selection using Mobility Management*

矢守 恭子  
Kyoko YAMORI

## 要旨

一般的な通信サービスでは、ユーザは自身の効用(満足度)を満たすよう通信資源を要求し、ネットワーク側はユーザ間の協調を期待せずに個々の要求をできる限り満足するように通信資源を割り当てている。これは限られた通信資源の奪い合いに他ならず、いわゆる「共有地の悲劇」が生じている。よって、効率的な通信資源の配分が困難である。本稿では、無線ネットワークにおけるユーザの間の資源配分を社会的ジレンマととらえ、モビリティ・マネジメントのフレームワークに基づき解決する方法を提案する。

### 1. アクセスポイント選択時のユーザの意思決定

サービスを提案するにあたってアクセスポイント(AP)における問題が社会的ジレンマであることを説明する。

社会的ジレンマには複数の定義が存在するが、本稿では次のように定義する。

$N$  人のプレイヤーがいて、彼らは  $C$ (協力),  $D$ (非協力)の行動選択が可能である。ここで  $m$  人のプレイヤーが協力する場合の利得を  $C(m)$ ,  $m$  人のプレイヤーが協力しない場合の利得を  $D(m)$ と表すとすると社会的ジレンマでは以下の式が成り立つ。

$$C(m) < D(m) \quad (0 < m < N) \tag{1}$$

$$C(N) > D(N) \tag{2}$$

式(1)はユーザが相手の行動選択にかかわらず非協力行動を選択する方が利得が大きいことを表している。式(2)はプレイヤー全員が非協力行動を選択するよりも全員が協力行動を選択する方が利得が大きいことを表している。このように各プレイヤーが自分の利得を追求して非協力行動を選択するが、全員が非協力行動をとると全員が協力行動をしたときよりも利得が小さくなってしまふ。この状態を社会的ジレンマと定義する。

ユーザが無線 LAN (Local Area Network) を利用する際、ネットワークに接続するための AP を検

索する. 一般に, ユーザは電波状況の良い(電波強度が高い)AP や, 自身が契約している AP を選択する. 電波状況の良いAP は選択される確率が高く, 結果として特定のAP にユーザが集中する. 一つのAP に接続する端末(ユーザ)の数が増えると, 電波強度が高くても, 通信機会は機会均等であるため, 端末個々の通信速度は低下する. よって, 電波の状況が良さそうな AP であっても, 多数の端末で共有することにより, 通信速度が上がらないという現象が起きる.

AP の混雑を解決する一つの方法として, 1)通信を止めることで通信を分散する必要がある. ここで誰かが通信を止める(協力)ならば何もしない(非協力)方が利得が大きい. よって, 非協力が最適戦略となる. これは囚人のジレンマと同じ結果となり, 社会的ジレンマとして考えることができるのである.

社会的ジレンマの解決方法も検討されている[1]. 社会的ジレンマを解決するには, プレイヤ同士の協力が必要である. しかし, 協力者の利得よりも非協力者の利得の方が大きい場合は, 純粋戦略として非協力行動が最適解となる. そこで, 外発的または内発的なインセンティブを与えることで利得関係を逆転させ, 協力行動を引き出すことが提案されている.

外発的なインセンティブな例として報酬や罰がある. 協力者に報酬を与えることで利得を大きくし, また非協力者に罰を与えることで非協力者の利得を小さくする. その結果, 利得を変化させ協力行動を生み出し, ジレンマの解決を図る. しかし報酬など外発的なインセンティブは, プレイヤが本来持っていた内発的なインセンティブが薄れてしまう可能性がある. また他者の協力行動を, 罰を免れるための裏切り行為と捉えることもでき, 信頼や信用が薄れてしまう可能性もある.

内発的なインセンティブの例としては主に心理的要因が挙げられる. たとえば, 個人の行動を決定している道徳心や良心など, 誰か役に立っているという心理的な満足を活用として捉え, 協力行動を行うモチベーションを上げる. 内発的なインセンティブが働くと, 個人が自ら協力行動をとろうとするため, 持続的な効果が得られる可能性が高い.

本稿ではこの内発的なインセンティブに着目し, 社会的ジレンマである AP における問題の解決法を提案する.

## 2. 提案するサービス

提案手法では AP における問題解決のためにユーザの移動(モビリティ)に着目した. AP 間でユーザの接続数に偏りが生じている場合, サービス側から輻輳している AP のユーザに対して, 空いている AP への移動を促す. ユーザに移動を促す際には情報(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通信速度)を提示する. 提示する通信速度は実測値が望ましいが, 無線 LAN では電波強度が変化するため理論的に得られる通信速度をユーザに提案する.

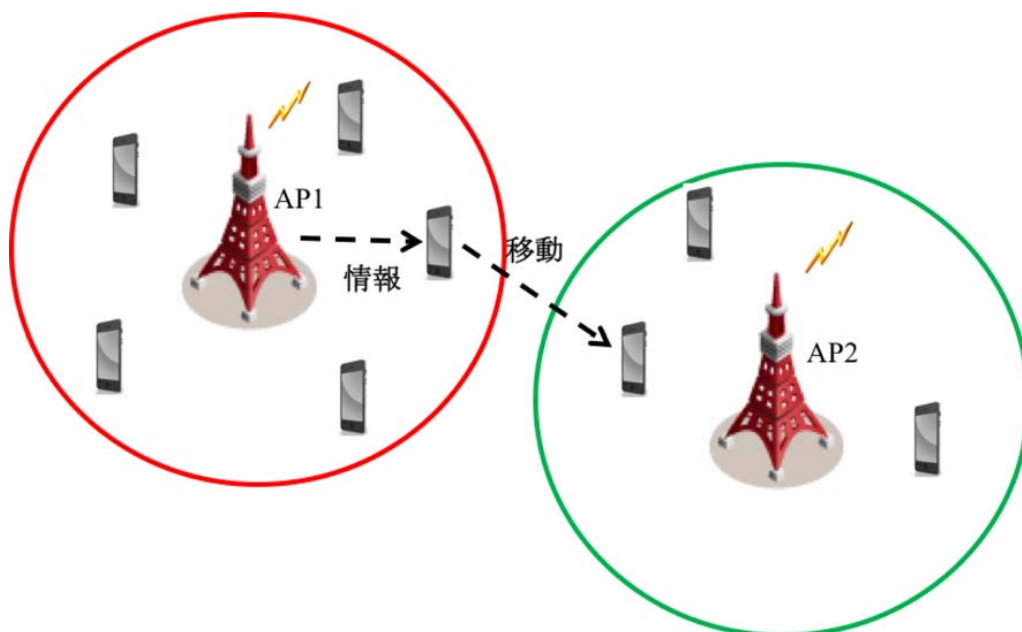


図1 提案サービスのモデル

図1に提案サービスのモデルを示す。このサービスの第一の目的はAP間の接続ユーザ数の平準化にある。そのため移動を促すユーザは、ターゲットとなるAPの配下にある全ユーザであり、移動に関する情報(位置や品質など)はターゲットAP接続しているユーザにbroadcastする。移動に協力するユーザが複数存在する場合は、APから離れた場所にいるユーザを優先的に移動させる。APから遠く離れているユーザが居ると、全体のThroughputを低下させる原因になるからである。

輻輳しているAPに接続していたユーザが、空いているAPに移動すると、ターゲットとなるAPに接続していたユーザの数が減少するため、ユーザー一人当たりのThroughputが増加する。ここで注目すべきは、移動することが自らの通信速度の改善と同時に、他ユーザの通信速度の改善にもつながることである。つまり移動は他者の通信速度の改善に協力することになるのである。

APから情報を与えられた際、ユーザ間では誘導に従うか従わないかを選択することができる。移動することでThroughputの改善になるが、他ユーザが移動するならば、自らが移動しなくてもThroughputは改善される。つまりユーザ同士のゲームを想定することができるのである。

### 3. ゲーム理論的考察

各ユーザが移動を促された際の行動をゲームを用いて考察する。移動を促されたユーザは「移動する」、「移動しない」のどちらかを選択する。本稿では、APからの要求に応じ、移動する場合を「協力」、移動しない場合を「非協力」とし、ユーザの戦略とする。

$N$  人のユーザが接続した AP におけるユーザ  $u_1, u_2$  のゲームに着目する ( $u_1, u_2 \in N$ ). ユーザ  $u_1, u_2$  はそれぞれ通信速度  $c$  で AP と接続している. ここで, 誘導先 AP で得られる通信速度を  $c'$  とすると, AP に協力することで得られる利得  $G$  は式(3)で表すことができる.

$$G = \Delta c - d \tag{3}$$

$\Delta c$  は通信速度の改善に対する効用の増分,  $d$  は誘導先 AP への移動コストとする. 移動コスト  $d$  が一定の場合, 各ユーザは効用の増分  $\Delta c$  と移動コスト  $d$  を比較し意思決定を行う.

ユーザ  $u_1, u_2$  のどちらか一方だけが協力的行動をとる (移動する) 場合, 接続ユーザ数が減少するため, 非協力ユーザの通信速度は協力ユーザがいなくなった分だけ, 僅かながら増加する. この増分を  $\Delta x$  とする. 誘導先 AP の候補がいくつか存在すると仮定すると, ユーザ  $u_1, u_2$  をそれぞれ違う AP に誘導することが可能なため, ユーザ  $u_1, u_2$  が共に協力する場合の利得は式(3)と等しくなる. ユーザの振る舞いを図 2 に, 利得行列を利得 ( $u_1, u_2$ ) の順に示す.

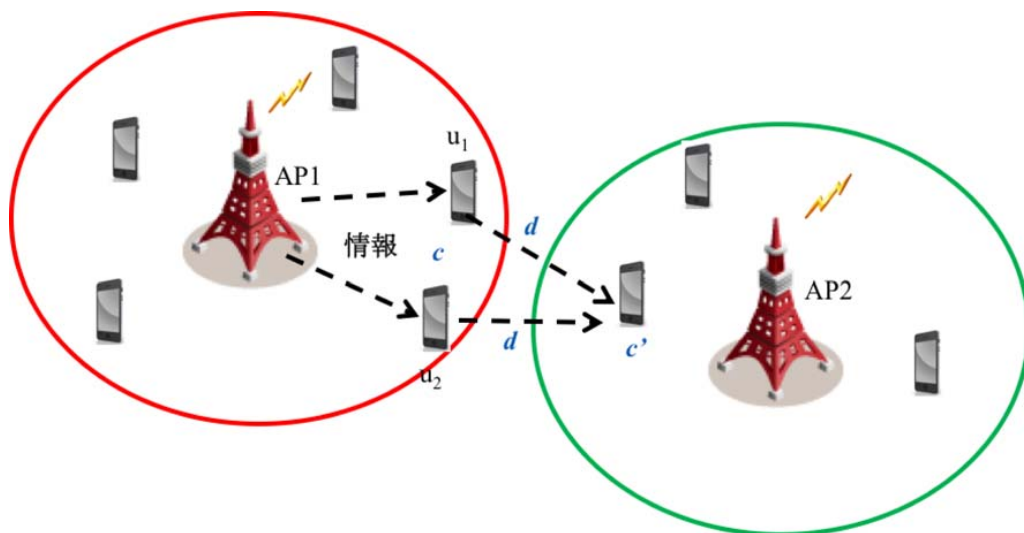


図 2 ユーザ同士のゲーム

表 1 ユーザ  $u_1, u_2$  の利得行列

		$u_1$	
		協力	非協力
$u_2$	協力	$( G, G )$	$( \Delta x, G )$
	非協力	$( G, \Delta x )$	$( 0, 0 )$

ユーザの平準化を目的としているため誘導先 AP は混雑していないことが前提となるため,  $0 < \Delta x < \Delta c$  の関係が成立する.

ここでユーザ  $u_1$  に注目して行動を考える。ユーザ  $u_1$  はユーザ  $u_2$  の行動を推測して行動選択を行う。ユーザ  $u_2$  が「協力」の場合、ユーザ  $u_1$  は  $G$  と  $\Delta x$  を比較し、ユーザ  $u_2$  が「非協力」の場合、 $G$  と  $0$  を比較して行動選択を行う。そのためユーザ  $u_1$  が選択する行動は以下の三つの場合によって異なる。

$$\Delta x < G \quad (4)$$

$$0 < G < \Delta x \quad (5)$$

$$G < 0 \quad (6)$$

式(4)の場合、ユーザ  $u_1$  はユーザ  $u_2$  の行動選択に関係なく「協力」することが最も合理的な選択となる。ユーザ  $u_2$  にとっても同様のことがいえるため、ユーザ  $u_2$  の最も合理的な選択も「協力」となる。互いに最適な選択を行い、これ以上戦略を変える必要のない戦略の組合せのことをナッシュ均衡という。よってこの場合のユーザ  $u_1, u_2$  のナッシュ均衡は(協力, 協力)となる。

式(5)の場合、ユーザ  $u_1$  はユーザ  $u_2$  が「協力」の場合、 $G < \Delta x$  であるため「非協力」を選択する。しかしユーザ  $u_2$  が「非協力」の場合、 $0 < G$  であるため「協力」を選択する。このようにユーザ  $u_1$  はユーザ  $u_2$  の行動選択によって選択を変える必要がある。ユーザ  $u_2$  にとっても同様のことがいえるため、ユーザ  $u_1, u_2$  のナッシュ均衡は(協力, 非協力), (非協力, 協力)となる。

式(6)の場合、ユーザ  $u_1$  はユーザ  $u_2$  の行動選択に関係なく「非協力」することが最も合理的な選択となる。ユーザ  $u_2$  にとっても同様のことがいえるため、ユーザ  $u_1, u_2$  のナッシュ均衡は(非協力, 非協力)となる。

サービスとしては平準化を目的としているためユーザを誘導したい。つまり利得が式(4)のようになり、ナッシュ均衡が(協力, 協力)となることが最適なのである。しかし  $\Delta x$  の値は協力ユーザの人数や接続ユーザの人数  $N$  に依存するため値を決定することができない。そのためユーザが協力行動をするには  $G$  の値が大きくなる必要がある。つまり効用の増分  $\Delta c$  が移動コスト  $d$  よりも大きくなることで全てのユーザが協力行動を起こすようになるのである。

#### 4. 効用の定量化

先ほどの式(6)の値は効用であるため、計算して比較することができない。そこで先行研究である文献[2]を参考にする。文献[2]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(Willingness To Move)の関係をアンケートにより定量的に明らかにしている。

移動する前にユーザがいる場所で得ていた通信速度と誘導した場所での通信速度をそれぞれ変化させた場合に、移動してもよいと思う距離 WTM がどのように変化するか調査したのである。現在ユーザがいる場所での通信速度を 1Mbps, 3Mbps, 5Mbps, 10Mbps, 50Mbps とし、誘導先での通信速度をそれぞれ変化させた。まず通信速度の増加率(移動先の通信速度/現在の通信速度)と移動してもよいと考える人数の関係を示している。文献のグラフによると現在の通信速度によるばらつきは小さく、通信速度の増加率が大きくなればなるほど移動する人数も増加している。つま

りユーザが移動する前に得ていた通信速度や移動先で得られる通信速度には関係なく、通信速度の増加率に基づいてユーザは移動するかしないかを判断するのである。

次に移動してもよいと考える人に対して、それぞれの通信速度の増加率での WTM を調査した。その人数の分布を WTM の確率とし、通信速度の増加率と WTM の期待値の関係を求めた。結果として増加率が 100 までは移動前後の通信速度によるばらつきはなく、WTM と通信速度の増加率は比例関係にあることが分かった。通信速度が 100 倍を超えて増加する際、現在地の通信速度が 1Mbps の場合を除いて WTM は 350m 付近で一定になっている。これらの通信速度では WTM の値は 350m が上限であると考えられる。

この研究により移動前後で得ていた通信速度に関係なく、通信速度の増加率が WTM と比例することが分かった。この研究により式(6)に示した通信速度の改善に対する効用の増分  $\Delta c$  は移動してもよい距離 WTM と表すことができ、式(6)は移動してもよい距離 WTM と移動コスト  $d$  の距離の式で考えることが可能なことが分かった。

距離の式で比較すると、ナッシュ均衡が(協力, 協力)となるためには移動してもよい距離 WTM が移動コスト  $d$  の値より大きくなる必要がある。ここで WTM は「移動してもよい」というユーザの意思を含めた値であることに注目し、ユーザに内発的なインセンティブを与え、WTM の値を大きくしようと考えた。

## 5. モビリティ・マネジメント

ユーザの意思を変化させ、移動してもよいと考える距離 WTM を大きくする方法として、AP における問題と同様に社会的ジレンマの一つである交通問題の解決法に着目した。交通問題とは交通量の増加による渋滞、排気による地球温暖化や環境汚染である。自家用車を利用する人が増加するために発生する。自家用車が増加すると、渋滞が生じ大気汚染が生じる可能性があるが、利便性を重視するため、自家用車の利用が増加する。同時に、バスや電車などダイヤが決められているため、時間の融通が取りづらい。自家用車を所有している人は、時間の融通の利かない公共交通機関の制度を面倒であると考え、利用を控える傾向にある。

これまで、交通政策では人々は目的地に正しく早く到着することを目的としており、そのために個人を「マネジメント」することが重要であった[3]。しかしながら、道路網全体の交通量が減少しない限り、渋滞緩和といった交通問題の解決は難しい。また近年は、「より安全に」「より快適に」目的地に到着すること、加えて環境対策、渋滞対策などが重要になっている。そこで内発的なインセンティブを与え、ユーザの意思を変えることで行動を変化させようと「モビリティ・マネジメント」という取り組みが行われるようになった[3][4]。

モビリティ・マネジメント(MM)の定義はいくつかある。土木学会では「一人ひとりのモビリティ(移動)が、個人的にも社会的にも望ましい方向(すなわち、適度な自動車利用から公共交通・自動車等を適切に利用する方向)へ自発的に変化することを促す、コミュニケーション施策を中心とした交通施策」[3]と厳密に定義されている。



文献[3]では、MM は、「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、システムの運用改善や整備も組み合わせつつ、住民一人ひとりや一つ一つの職場組織などに働きかけ、自発的な行動の転換を促していくもの」定義されている。このように一人ひとりに呼びかけ、協力を促すことで外発的なインセンティブではなく、「協力しよう」という内発的なインセンティブによって問題の解決を図ろうとしたのである。

## 6. モビリティ・マネジメントの適用

この MM の考え方を AP における問題に適用する。交通問題と AP における問題は社会的ジレンマであるということ以外に類似点がある。無線ネットワークと交通ネットワークの発展の経緯である。

無線 LAN において当初の目的はどこでも接続できること、つながることが目的であった。その目標を達成すべく、多くの場所に AP が設置された。増設が進むにつれ、次の目標としてその AP を効率的に利用することに移行したのである。交通に関しても同様であった。交通整備がまだなされていないころ、目的地に着くこと、その目的地に早く着くことが目的であった。そのためインフラを整備し、交通の点と点のつながりをなめらかにしようとした。基礎的なインフラが整備されると次の目的として、道という有限な資源を効率的に利用することに移行したのである。つまりどちらの問題も必要とされているのは、有限な資源を効率的に利用するための「マネジメント」である。

確かに有効利用するためにシステムを構築することは問題解決に有効である。しかし、大規模なシステムの改変には大きなコストがかかり、外発的なインセンティブを与える方法では、ユーザが問題を認識しない可能性もある。そうではなく、MM はユーザ自身に問題を意識させ、その原因、解決策を伝えることで協力を促そうとしたのである。そして協力して欲しいという内発的なインセンティブを与えることで問題解決を図る。本稿においても移動の必要性、重要性を理解してもらった上で「移動」に協力して欲しいという内発的なインセンティブを与え、ユーザが移動してもよいと考える距離 WTM を大きくし、問題解決を図る。

## 7. まとめ

本稿では AP における問題の解決策として、混雑した AP に接続しているユーザに「移動」を促すサービスを提案した。提案サービスは、ユーザを空いている AP へ誘導する際、誘導先 AP までの地図(具体的な移動方向)、移動先までの距離、現在得ている通信速度、移動した先で得られる通信速度などの情報を提示するものである。ユーザは与えられた情報をもとに自身の利得の最大化を図ると考えられる。AP の誘導に対して自身のことのみを考えるため、ユーザ同士のゲームが考えられた。そこで AP の誘導に従い移動することを「協力」、移動しないことを「非協力」として、ユーザの利得を考え、ゲームによってユーザの行動を解析した。結果として、ユーザ同士が互いに協力して空いている AP へ移動するためには、ユーザが移動してもよいと考える距離 WTM が大きくなる必要があることが分かった。

本稿では社会的ジレンマである交通問題の解決法として内発的インセンティブを与える「モビリティ・マネジメント」に着目した。モビリティ・マネジメントは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、自発的な行動の変化を促す取り組みである。この手法を適用することにより、ユーザ誘導を行うメカニズムを提案することが可能となる。

今後の課題として、アンケート調査を実施、モビリティ・マネジメントがユーザ誘導に有効であることを示す。

#### 参考文献

- [1]山岸 俊男, “社会的ジレンマ解決の意図せざる結果,” *Sociological Theory and Methods*, Vol.4, pp.21-37, 1989.
- [2]Y. Fukuda, T. Abe, Y. Oie, “Decentralized Access Point Selection Architecture for Wireless LANs,” *IEICE, Trans.*, Vol.E90-B, pp.2513-2523, Sep. 2007.
- [3]藤井 聡, “TDM と社会的ジレンマ:交通問題解消における公共心の役割,” *土木学会論文集*, No.667/IV-50, pp.41-58, 2001.
- [4]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, March 2007.

矢守 恭子 (経営学部経営情報学科教授)