

# 複数経路および複数隘路における動的混雑課金の効果に関する研究

A Study on the Effects of Peak Load Pricing in a Multi-Route Network and a Multi-Bottleneck Artery

長根尾 信博

指導教授 越 正毅

## 1 研究の背景と目的

従来動的課金の研究では、様々な場合を対象として、シミュレーションによって効果が検討されてきた。しかし、利用者均衡に達するまでに多くの日数を要することや各車間のばらつきが大きいなど必ずしも満足の行く結果が得られていない。

そこで本研究では、アルゴリズムの見直しを行い、混雑時動的課金のシミュレーションを行うことにより、過去に行われたケースの無課金、課金への過渡状態および均衡状態についての考察を行う。

## 2 出勤交通理論

図 - 1 のように単純な出勤交通モデルで考える。住宅地を出発した車が、図 - 2 の実線(真の交通需要)で示されるような交通需要をもつとき、実際に観測される交通流は図 - 2 の細線(見かけの需要)のようになる。このとき渋滞に参加する車両は、渋滞コスト、事業所に早着するコスト、あるいは遅着するコストの合計を負担している事になる。

混雑時動的課金理論は、渋滞コストに相応する課金をかけることにより、渋滞時間帯に到着する車両を分散させ、渋滞を解消しようとするというものである。

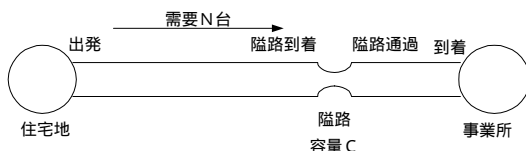


図 - 1 出勤交通モデル

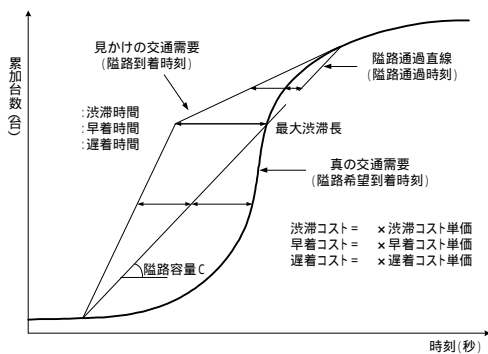


図 - 2 隘路容量と交通需要

## 3 シミュレーションモデル

本シミュレーションで用いる共通モデルと、各ケースで用いる追加モデルについて説明する。

### 《共通モデル》

#### 交通状況再現モデル

ある与えられた交通需要および隘路容量から渋滞待ち行列を再現し、全車の隘路通過時刻、および渋滞遅れ時間の算出を行う。

#### 課金額決定モデル

の処理により各車渋滞時間が算出されるので、その遅れ時間に基づいて課金額を決定する。

各車の隘路通過時刻の課金額は、その車両の渋滞遅れがある上限閾値以上ならば課金額をさらに増加し、ある下限閾値以下なら減少させるという方法で、課金更新時から一定期間経た後で更新し、これを均衡状態になるまで繰り返す。

#### 翌日到着時刻決定モデル

の処理により、以下のものが算出できる。

ア) 渋滞コスト(渋滞時間×渋滞コスト単価)

イ) スケジュールコスト

(希望通過時刻と隘路通過時刻との差×

早着あるいは遅着コスト単価)

ウ) 課金額( で求める)

各車両はア)~ウ)のコストの合計(以下、トータルコストとする)によって、本日のトータルコストより安くなる到着時刻を求め、翌日の到着時刻とする。尚、過去の研究ではもし、他車の到着時刻に隘路に到着した時のトータルコストを算出し、図 - 3 のように本日到着時刻の前後2分間の範囲内でトータルコストの安い翌日到着時刻を求めていた。しかし、本研究では全ての時間を対象とし、今日よりトータルコストの安い所を求め、作成した面積の中に乱数を落とすことにより翌日到着時刻を求める。

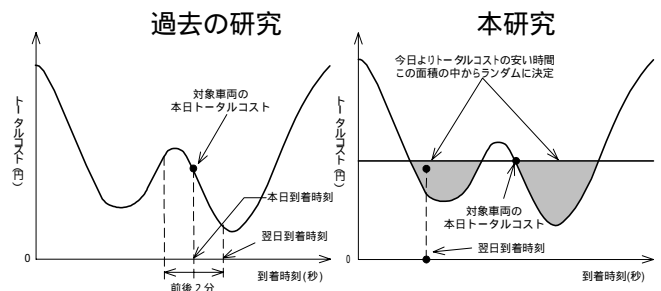


図 - 3 過去と今年の相違点

《ケース1》 単一経路で単一隘路の場合(図 - 1 参照) ~ の共通条件をそのまま用いる。

《ケース2》 単一経路で隘路が複数存在する場合(図-4参照)

各車隘路希望通過時刻は下流側隘路(隘路2)の希望通過時刻とする。

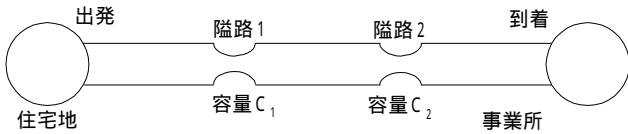


図-4 隘路が複数あるケース(ケース2)

交通状況再現モデル

上流側隘路(隘路1)から下流側隘路(隘路2)までのリンク長は0とする。

課金額決定モデル

下流側の隘路において渋滞をなくすように下流側の隘路のみ課金をかけるものとする。

《ケース3、4》 経路が複数存在する場合(図-5参照)

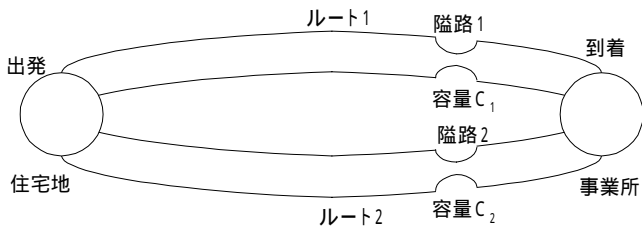


図-5 経路が複数あるケース(ケース3、4)

翌日到着時刻決定モデル

2ルートそれぞれのトータルコストを求め、トータルコストが一番安くなる翌日の到着時刻、ルートを求める。

4 シミュレーションの条件

(1) 共通条件

全条件での各車のコスト単価は表-1とする。また全てのケースにおいて低時間価値と高時間価値の車両は半分ずつ混在するようにした。

表-1 各コスト単価表

	渋滞コスト	早着コスト	遅着コスト
低時間価値	70(円/分)	30(円/分)	100(円/分)
高時間価値	140(円/分)	60(円/分)	200(円/分)

(2) シミュレーションのケース

前項で述べたモデルのケースについて設定する。それぞれの条件を表-2に示す。

5 シミュレーションの結果

(1) 単一経路・単一隘路の場合(ケース1)

無課金状態での均衡状態と課金状態での均衡状態を図-6に示す。なお、この図において縦軸には台数を、横軸には時刻を示す。

表-2 各シミュレーションパターンの条件

	単一経路 単一隘路	単一隘路 複数経路	複数経路
交通需要(台)	1,400	1,400	1,800
真の交通需要 最大流率	7,200(台/時)		
隘路容量 (台/時)	1,800	上流側 2,400 下流側 1,800	ルート1 1,800 ルート2 1,200

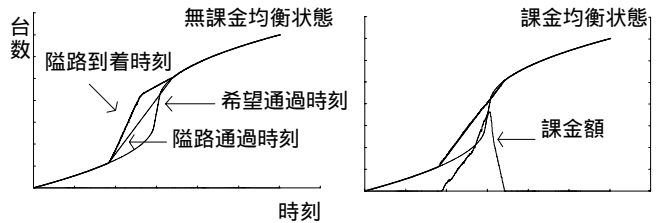


図-6 ケース1の到着出発分布図

低時間価値と高時間価値に分けての到着分布を図-7に示す。

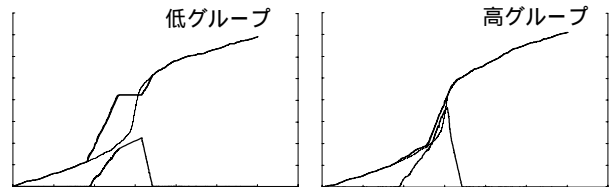


図-7 課金均衡時の時間価値別到着分布図

課金状態でのコストと無課金状態のコストとの差額を図-8に示す。この時グラフの上方に点が分布されれば課金を実施したことにより利益を得たことを示す。

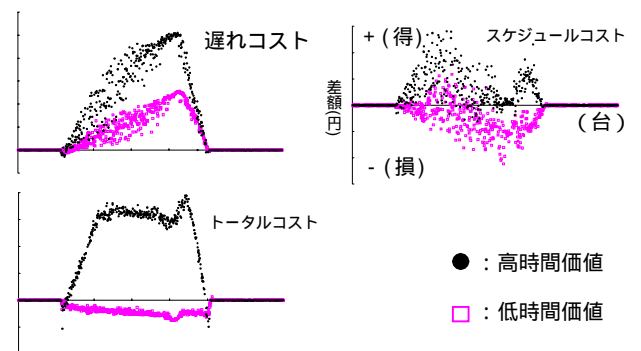


図-8 課金前・課金後のコスト比較(ケース1)

表-3にコストの平均値を示す。

表-3 ケース1のコスト平均値

	コスト	120日(A)	420日(B)	(A)-(B)
低時間価値 (691台)	遅れコスト	135.6	9.8	125.8
	スケジュールコスト	87.8	138.1	-50.3
	課金額	0.0	100.0	-100.0
	トータルコスト	223.6	247.8	-24.2
高時間価値 (709台)	遅れコスト	315.8	12.5	303.3
	スケジュールコスト	119.6	46.5	73.1
	課金額	0.0	238.7	-238.7
	トータルコスト	435.4	297.7	137.7

(単位:円/台)

結果として次のことが挙げられる。

課金均衡時、低グループは高課金時間帯を避けてスケジュールコストを支払っている。

課金により高グループは利益を得、低グループは損失を蒙る。

(2) 複数隘路の場合(ケース2)

無課金均衡状態、下流側のみ動的課金をかけて渋滞が解消した均衡状態の到着出発分布を図-9に、コスト比較図を図-10に、平均値を表-4に示す。

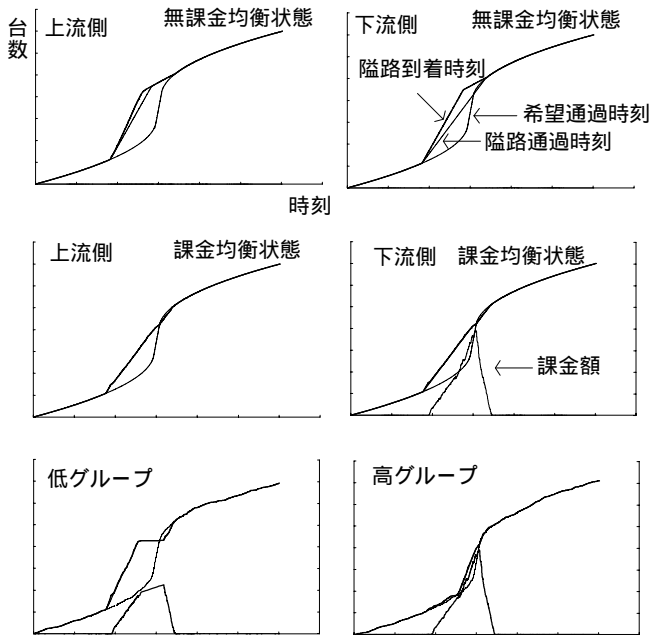


図-9 ケース2の到着出発分布図

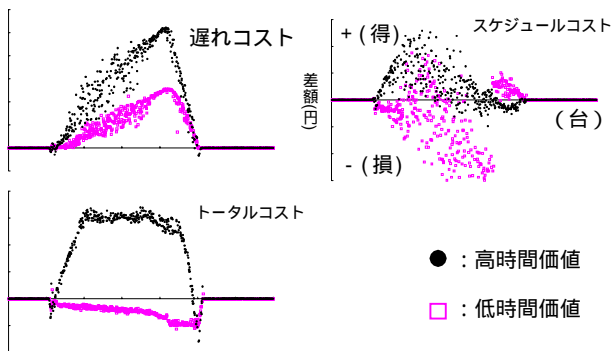


図-10 課金前・課金後のコスト比較(ケース2)

表-4 ケース1のコスト平均値

	コスト	120日(A)	420日(B)	(A)-(B)
低時間価値 (691台)	遅れコスト	140.1	8.4	131.7
	スケジュールコスト	165.0	245.1	-80.1
	課金額	0.0	99.4	-99.4
	トータルコスト	226.9	255.9	-29.0
高時間価値 (709台)	遅れコスト	318.1	13.1	305.0
	スケジュールコスト	103.7	48.5	55.2
	課金額	0.0	247.7	-247.7
	トータルコスト	441.9	313.2	128.7

(単位:円/台)

このケースから次のことが言える。

2つの到着分布を合成すると、単一経路、単一隘路の分布となり、隘路容量は2つのうち、小さい方の容量をとる。

下流のみに動的課金を課すだけで渋滞は解消する。

(3) 複数経路の場合(ケース3、4)

まず、1ルートのみ課金をかけるケース(ケース3)での到着出発分布図を図-11に、コストの比較図を図-12に示す。

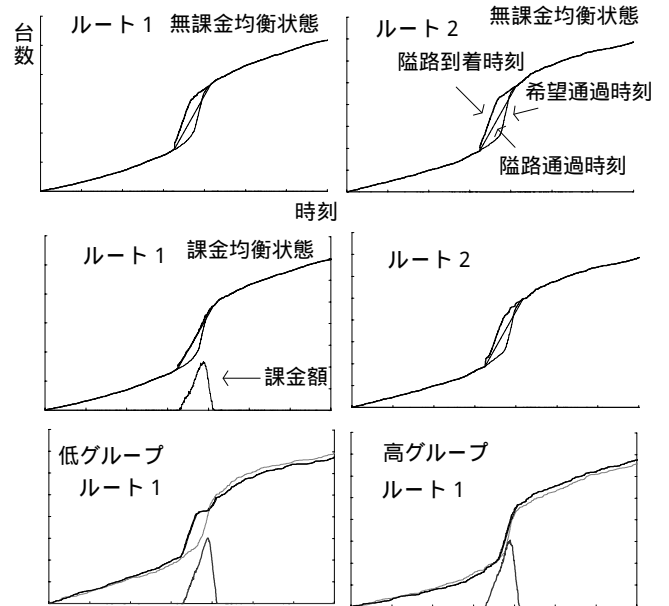


図-11 ケース3の到着出発分布図

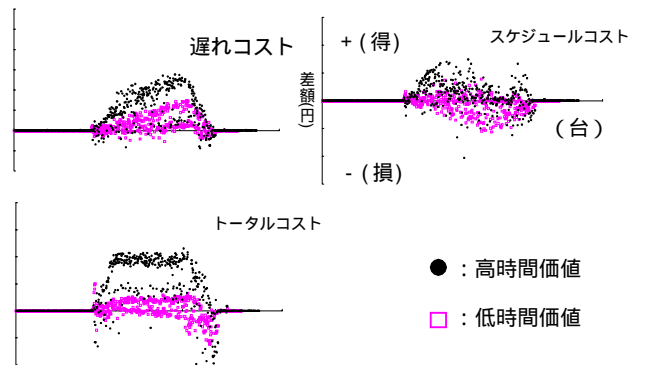


図-12 課金前・課金後のコスト比較(ケース3)

また、表-5に課金前・課金後の通行台数を示す。

表-5 ケース3の2ルートの通行台数

		260日(A)	900日(B)	(B)-(A)
ルート1	低時間価値	548	513	-35
	高時間価値	533	584	51
	合計	1081	1097	16
	ルート2	低時間価値	369	404
	高時間価値	350	299	-51
	合計	719	703	-16

(単位:台)

ケース3の結果として、片方のルートに課金をかけると高グループの一部は課金ルートに、低グループの一部は非課金ルートに移るが、各ルートの交通量はそれほど変わらないことが分かる。また、グループ別の到着出発分布にはケース1と相似性が見られる。

次に、2ルートそれぞれ課金をかけるケース(ケース4)において、課金後渋滞が解消した均衡状態の到着出発分布図を図-13(無課金均衡状態はケース3と同じ)に、コスト比較図を図-14に、通行台数を表-6に示す。

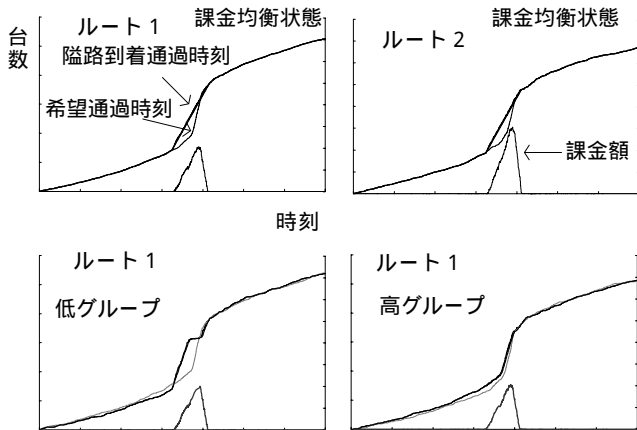


図-13 ケース4の到着出発分布図

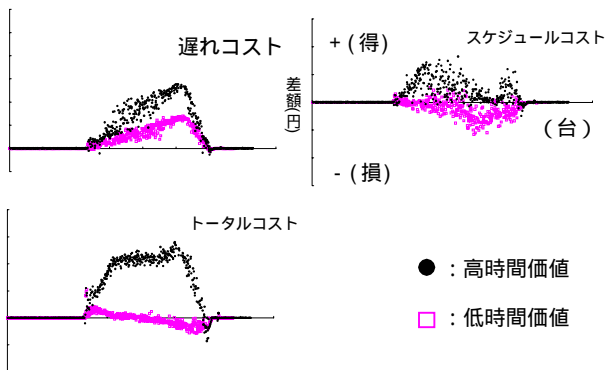


図-14 課金前・課金後のコスト比較(ケース4)

表-6 ケース4の2ルートの通行台数

		260日(A)	1010日(B)	(B)-(A)
ルート1	低時間価値	548	570	22
	高時間価値	533	531	-2
	合計	1081	1101	20
ルート2	低時間価値	369	347	-22
	高時間価値	350	352	2
	合計	719	699	-20

(単位:台)

ケース4の結果として、ケース3ほど走行台数および時間価値の構成は変わらないことが分かる。また、グループ別の到着出発分布にはケース1と相似性が見られる。

ケース3と4のコストの平均値を表-7に示す。

表-7 ケース3・4のコスト平均値

	コスト	260日(A)	900日(B)	(A)-(B)
			1010日(B)	
低時間価値	遅れコスト	63.4	37.0	26.4
			8.7	54.7
	スケジュールコスト	29.8	40.6	-10.8
			48.3	-18.5
課金額	0.0	13.2	-13.2	
			37.8	-37.8
	トータルコスト	93.2	90.8	2.4
			94.8	-1.6
高時間価値	遅れコスト	137.4	45.4	92.0
			20.2	117.2
	スケジュールコスト	50.9	30.2	20.7
			12.5	38.4
課金額	0.0	65.7	-65.7	
		83.3	-83.3	
	トータルコスト	188.3	141.3	47.0
			116.0	72.3

(単位:円/台)

上段がケース3の平均コスト、下段がケース4の平均コスト

この表より、片方だけに課金を科すと双方に利益が生じるが、両方に課金を科すと、高グループが大幅な利益を受けることが分かる。

## 6 結論と今後の課題

全てのケースにおいて、課金時に高時間価値グループは高い課金を支払っても希望通過時刻に通過することが示された。また、高時間価値のグループは利益を得、低時間価値のグループは場合によっては損失を蒙ることが示された。したがって場合によっては社会的不公平の議論の対象になることも免れないことが示された。

直列複数隘路において、上流と下流の到着出発到着分布を合成すると、単一隘路の分布と同じになることが示された。また、隘路容量の小さい下流側に動的課金を科すだけで、渋滞は解消できることが示された。

複数経路において片方のルートだけに課金をかけたとき、それぞれのルートの交通量が変わらないことが示された。これにより、定額課金では生ずるはずの課金による需要の偏りは見られないことが示された。

以上のことより、過去の研究とほぼ同様の結果が得られた。また、均衡にいたるまでの日数が約半分になったこと、コスト比較図が連続であることから、アルゴリズムの改良により、精度の高いシミュレーションが行えたことがわかる。

今後の課題については、以下の点が挙げられる。

利用者均衡に至るまでのアルゴリズムの改良  
様々なケースに基づく動的課金の効果の検証