

# 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

石山 静樹 指導教授 越 正 毅

## 1 研究の背景と目的

動的課金の従来の研究は、主として出発地と目的地が単純な一つのルートモデルとして動的課金の手法・効果が述べられてきた。しかし、複数隘路や目的地まで複数の経路が存在する状況において定量的な検討はまだ行われていない。

そこで本研究では

経路が複数存在するケース

単一経路に隘路が複数存在するケース

を取り上げ、混雑時動的課金のシミュレーションを行い、その結果から無課金状態、課金状態に至るまでの過渡状態および均衡状態についての考察を行う。さらに、時間価値の異なる利用者の負担額について検討することを目的とする。

## 2 混雑時動的課金理論

図 - 1 のような単純な交通におけるモデルで考えよう。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、事業所に到着するコスト、あるいは遅着するコストの合計を負担していることになる。

混雑時動的課金理論は、遅れ時間コストに相応する課金をかけることにより、隘路の到着交通の集中を分散化させ、渋滞を解消するというものである。

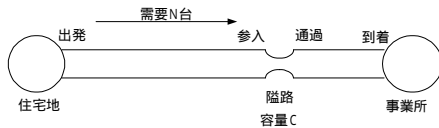


図 - 1 出勤交通モデル

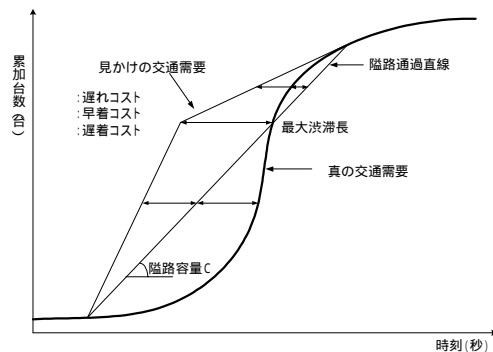


図 - 2 隘路容量と交通需要

## 3 シミュレーションモデル

ここでは実際にコンピュータシミュレーションを行う上で用いるモデルについて説明する。

《共通条件》

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。

また交通状況によっては、課金額の増減が変わる時刻が存在するので、図 - 3 のように調整する。

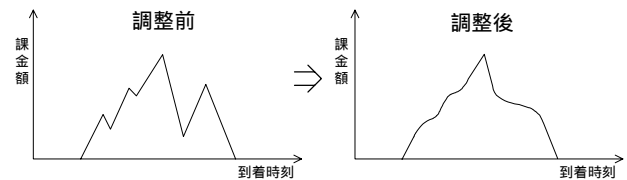


図 - 3 課金額の調整

翌日到着時刻決定モデル

今までの処理により、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×

到着あるいは遅着コスト単価)

ウ) 課金コスト( で求めたもの)

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。

(1) 単一経路で単一隘路の場合

~ の共通条件をそのまま用いる。

(2) 経路が複数存在する場合(図 - 4 参照)

~ は共通条件をそのまま用いる。

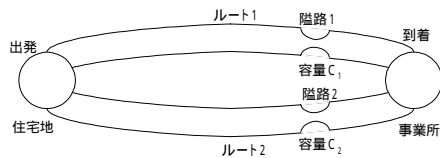


図 - 4 経路が複数あるケース(ケース2・3)

翌日到着決定モデル

今日の通行ルートにおいてトータルコストの安くなる時間帯を探すほかに、別ルートにおいて隘路希望通過時刻が近い車の遅れ時間を参照して仮のトータルコストを求め、一番安くなる翌日の到着時間、ルートを求める。

(3) 隘路が複数存在する場合(単一経路)

単一の経路に複数の隘路があるケース(図 - 5 参照) 各車の出発地は毎日同じとする。また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。以降出発地1からの車両を本線車、出発地2からの車両を流入車とする。

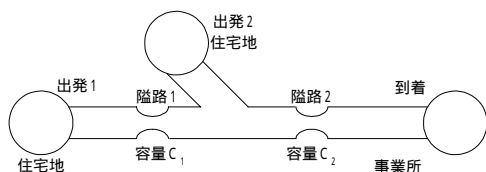


図 - 5 隘路が複数あるケース(ケース4)

交通状況再現モデル

上流側隘路(隘路1)通過から下流側隘路(隘路2)到着時刻までの旅行時間は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。下流側にて課金時均衡状態に達した状態で、下流側の課金を固定にし、上流側の隘路にて渋滞をなくすように課金をかけるものとする。

翌日到着時刻決定モデル

本線車は隘路二つ分のトータルコストを、流入車は隘路一つ分のトータルコストを用いる。

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。

(2) シミュレーションのパターン

前項で述べたモデルのケースについて設定する。それぞれの条件は表 - 2 に示すとおりである。

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)

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	複数経路		単一隘路で複数経路	
交通需要	1,400	2,800		本線車	1,400
				流入車	600
真の交通需要 最大流率	7,200(台/時)				
隘路容量 (台/時)	1,800	ルート1	1,800	上流側	1,200
		ルート2	1,200	下流側	1,800

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、横軸には時間を示す。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。また課金状態でのコストから無課金状態のコストの差額を図 - 8 に示す。この時グラフの下方に点が分布されれば課金を実施して利益を得たことを示す。

また、表 - 3 にコストの平均値を示す。

結果として次のことが挙げられる。

課金均衡時、低時間価値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。

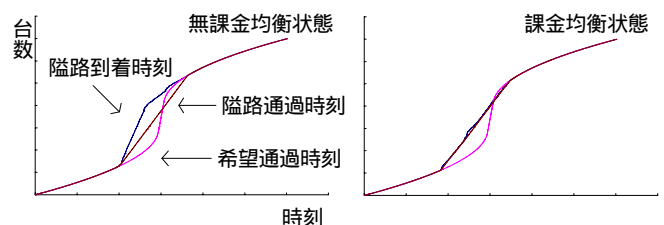


図 - 6 ケース1の到着出発分布図

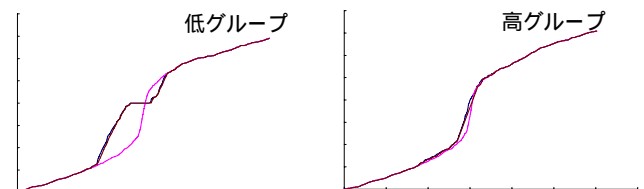


図 - 7 課金均衡時のグループ別到着出発分布図

表 - 3 ケース1のコスト平均値

	コスト	500日(A)	1500日(B)	(B)-(A)
低時間価値 (691台)	遅れコスト	159.9	11.4	-148.5
	SC	85.1	132.1	47.0
	課金コスト	0.0	105.0	105.0
	TC	245.0	248.5	3.5
高時間価値 (709台)	遅れコスト	318.6	28.1	-290.5
	SC	158.4	50.6	-107.8
	課金コスト	0.0	223.7	223.7
	TC	477.0	302.4	-174.6

(単位: 円/台)

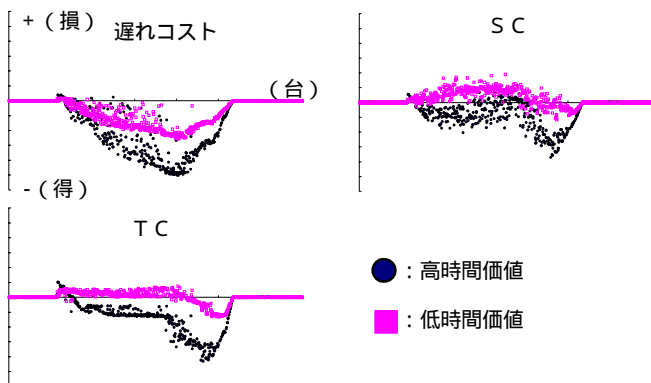


図 - 8 課金前・課金後のコスト比較 (ケース 1)

課金により高時間価値は利益を得、低時間価値は損を蒙る。

(2) 複数経路の場合 (ケース 2、3)

まず、1ルートのみ課金をかけるケース (ケース 2) での到着出発分布図 (図 - 9) 及びコストの比較 (図 - 10) を行う。また表 - 4 に課金前・課金後の通行台数を示す。このケースでは片方のルートに課金をかけると、高時間価値の一部は課金ルートに、低時間価値の一部は非課金ルートに移るが、各ルートの交通量は変わらないことが分かる。

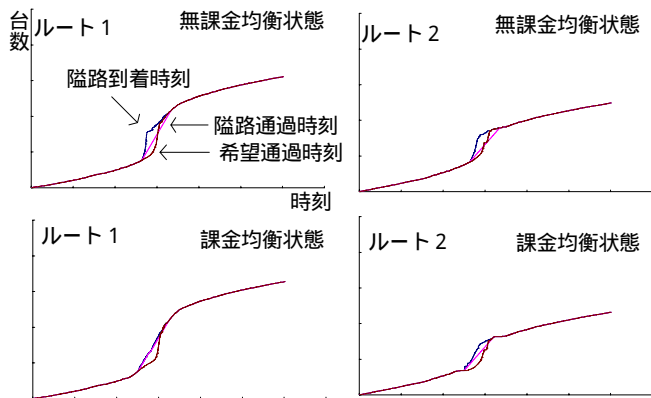


図 - 9 ケース 2 の到着出発分布図

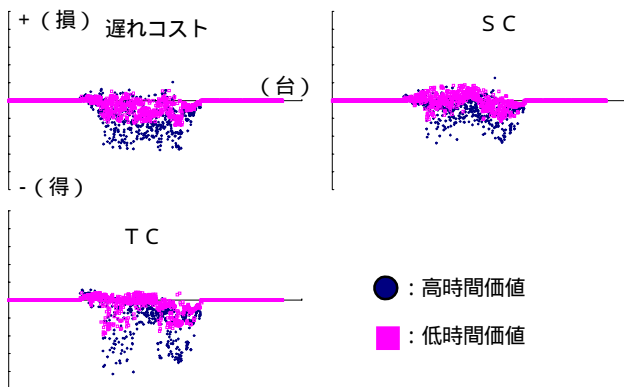


図 - 10 課金前・課金後のコスト比較 (ケース 2)

表 - 4 ケース 2 の 2 ルートの通行台数

		500日 (A)	2000日 (B)	(B) - (A)
ルート 1	低時間価値	775	707	-68
	高時間価値	782	934	152
	合計	1,557	1,641	84
ルート 2	低時間価値	626	694	68
	高時間価値	617	465	-152
	合計	1,243	1,159	-84

(単位: 台)

次にケース 3 であるが、交通需要及び隘路容量をケース 2 と同じにして、2 ルートそれぞれ課金をかけて、渋滞がなくなった均衡状態の到着出発分布図を図 - 11 (無課金均衡状態はケース 2 と同じ) に、コスト比較図を図 - 12 に、通行台数を表 - 5 に示す。またケース 2 と 3 のコストの平均値を表 - 6 に示す。

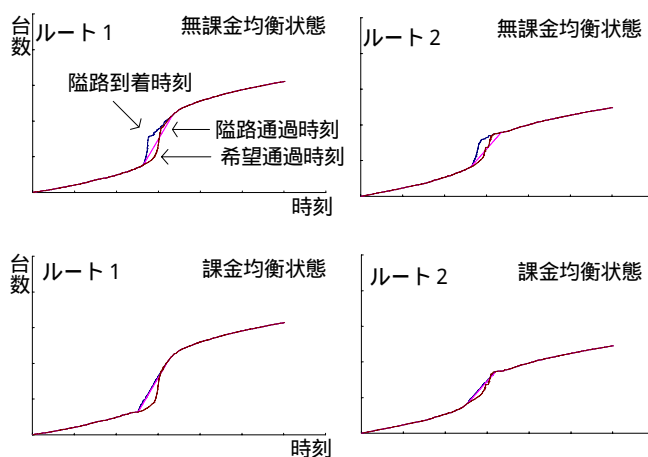


図 - 11 ケース 3 の到着出発分布図

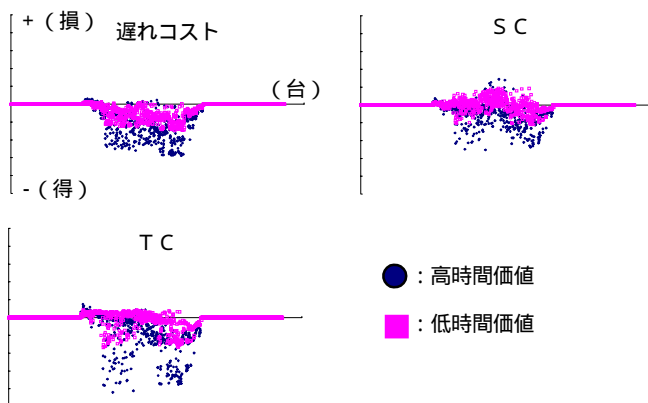


図 - 12 課金前・課金後のコスト比較 (ケース 3)

表 - 5 ケース 3 の 2 ルートの通行台数

		500日 (A)	2000日 (B)	(B) - (A)
ルート 1	低時間価値	775	779	4
	高時間価値	782	794	12
	合計	1,557	1,573	16
ルート 2	低時間価値	626	622	-4
	高時間価値	617	605	-12
	合計	1,243	1,227	-16

(単位: 台)

表 - 6 ケース 2・3 のコスト平均値

		500日(A)	2000日(B) 1500日(B)	(B)-(A)
低時間価値	遅れコスト	132.2	52.2 13.4	-80.0 -118.8
	SC	76.7	71.4 71.4	-5.3 -5.3
	課金コスト	0.0	24.0 73.3	24.0 73.3
	TC	208.9	147.6 158.1	-61.3 -50.8
高時間価値	遅れコスト	265.1	73.5 29.7	-191.6 -235.4
	SC	147.9	45.8 36.8	-102.1 -111.1
	課金コスト	0.0	115.6 127.6	115.6 127.6
	TC	413.0	234.8 194.1	-178.2 -218.9

(単位：円/台)

上段がケース 2 の平均コスト、下段がケース 3 の平均コスト

このケースでケース 2 と違い、走行台数および構成は変わらなかった

(3) 複数隘路の場合(ケース 4)

無課金での均衡状態、下流側のみ動的課金をかけて渋滞が見られなくなった均衡状態、そして上流側

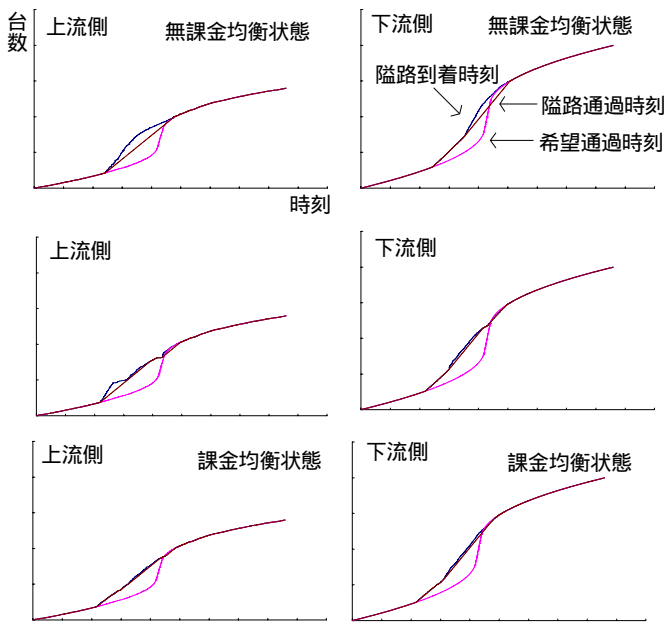


図 - 13 ケース 4 の到着出発分布図

表 - 7 課金前・課金後のコスト比較(ケース 4)

		本線車			流入車			平均値		
		500日	1500日	差額	500日	1500日	差額	500日	1500日	差額
低時間価値 (本線705台 流入299台)	遅れコスト	238.9	32.9	-206.0	95.3	31.9	-63.4	196.2	32.6	-163.6
	SC	155.0	213.2	58.2	51.1	138.4	87.3	124.0	190.9	66.9
	課金コスト	0.0	183.1	183.1	0.0	108.5	108.5	0.0	160.9	160.9
	TC	393.9	429.2	35.3	146.4	278.8	132.4	320.2	384.4	64.2
高時間価値 (本線695台 流入301台)	遅れコスト	485.5	109.4	-376.1	176.4	81.2	-95.2	392.3	100.9	-291.4
	SC	307.6	116.0	-191.6	88.5	18.1	-70.4	241.5	86.5	-155.0
	課金コスト	0.0	313.5	313.5	0.0	231.3	231.3	0.0	288.7	288.7
	TC	793.1	538.9	-254.2	264.9	330.6	65.7	633.8	476.1	-157.7

(単位：円/台)

で動的課金をかけて渋滞がなくなった均衡状態の到着出発分布を図 - 13 に、コスト比較図を図 - 14 に、平均値を表 - 7 に示す。

このケースから次のことが言える。

本線車は課金により高時間価値グループのみ利益を得る。

低時間価値・個随感価値ともに流入車は本線車に比べて損失を蒙る。

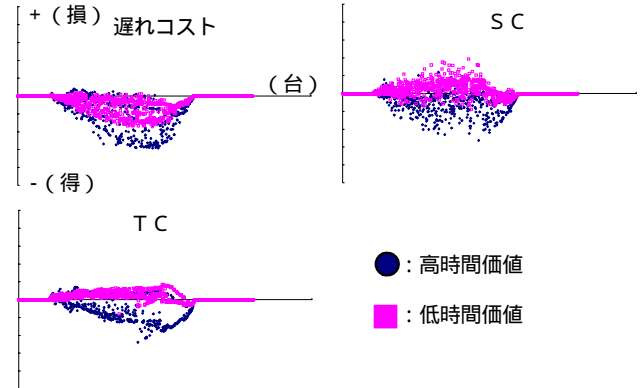


図 - 14 課金前・課金後のコスト比較(ケース 4)

6 結論と今後の課題

単一経路・単一隘路のケースでも言えるように、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。また複数経路において片方のルートのみ課金をかけたとき、それぞれのルートの交通量が変わらないこと、および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。

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