

〈論文〉

自動車産業の投資行動：アメリカ上場企業の場合

浅野博勝*

Investment Behavior of Automobile Manufactures : Case of Publicly Traded Firms in USA

Hirokatsu Asano

Abstract

This paper analyzes the convex adjustment cost of capital adjustments. The theoretical model is a dynamic programming model which this analysis numerically solves. Capital adjustments expected by the theoretical model are then compared with observed adjustments to estimate the convex adjustment cost. The estimation methods are the Methods of Moments for point estimates and the bootstrap method for standard errors. This analysis' estimate is less than estimates based on q theory but greater than estimates based on the Euler equation. In addition, this analysis shows that the adjustment cost function is unlikely to be homogeneous of degree zero or one.

はじめに

本論文は設備投資にかかる凸関数型調整費用を分析する。資本調節の基本となる設備投資は国内総生産のなかでも変動の激しい要素である。しかし、実際の変動は調整費用が無い場合から予想される変動よりかなり小さいことが知られている。その理由として凸関数型調整費用の存在が挙げられる。本論文の目的はこの凸関数型調整費用を推定することである。

本論文では最適な資本調整に関する動的計画法モデルを数値的に解き、その解である政策関数 (policy function) を最適資本ストックの予測値とする。凸関数型調整費用の推定には点推定にモーメント法を用い、標準誤差や信頼区間をブートストラップ法により求める。推定は動的計画法の価値関数 (value function) でなく政策関数に焦点を当てる。政策関数を選択する理由は価値関数は企業の本源的な価値を示すが、対応するデータはほとんど存在しないためである。分析には企業の

* 亜細亜大学経済学部准教授

価値の代わりに、資本量データから容易に算出できる資本調整率を被説明変数とする。

本論文の理論モデルである動的計画法モデルは将来にわたる企業の利益の現在価値を最大にしようとする。設備投資に調整費用が掛かると一度に大規模な設備投資をするより数回に分割した小規模の設備投資を繰り返す方が費用の節約になる。また、設備投資が不可逆な場合には設備投資の判断を延期することに価値が生まれる。設備投資判断を延期することで企業は経済状況についてより多くの情報を収集することができ設備投資についてより良い判断が下せるようになる。企業の利益の現在価値を最大にすることを基礎にした設備投資に関する実オプション理論はこの判断を延期することで生ずる価値を設備投資の判断ルールの中に織り込む。実オプション理論では、企業は設備投資を延期するオプションを有するので、企業は設備投資についてその規模だけでなく時期についても最適な決定を下すことになる。こうして実オプション理論は判断延期の価値を評価する（例えば、McDonald & Siegel, 1986を参照）。

Abel & Eberly (1996, 1998) は設備投資の実オプション理論を利用して設備投資に固定費用が掛かる場合と掛からない場合について不可逆な投資の最適な判断ルールを理論的に示した。彼らのモデルは1次同次になるように設定されており、その結果ハミルトン・ヤコビ・ベルマン（偏微分）方程式は常微分方程式に変換できる。しかし、これらのモデルには凸関数型調整費用は含まれない。Cooper & Haltiwanger (2006) は凸関数型調整費用を含む種々の関数形を仮定した調整費用のある設備投資について動的計画法のベルマン方程式を数値的に解いた。Abel & Eberly (1996, 1998) は確率変数に幾何級数型ブラウン運動を仮定し、Cooper & Haltiwanger (2006) はマルコフ連鎖を仮定している。

本論文は前述の研究から触発されたものである。本論文の理論モデルは前述のモデルを基にしているが、簡略化のため凸関数型調整費用のみを扱っている。しかし、本論文はAbel & Eberly (1996, 1998) とは異なり一次同次性を仮定していない。その結果、ハミルトン・ヤコビ・ベルマン方程式を常微分方程式に変換できないため、理論モデルを数値解法により解いている。Cooper & Haltiwangerが事前に調整費用のパラメーターを仮定しているのに対し、本論文は凸関数型費用をデータから推定している。

設備投資に関する研究には二系統ある。一方はトービンの q 理論に基づいており、その推定調整費用は大きなものになっている。他方はオイラー方程式を基にしておりその推定調整費用は q 理論よりかなり小さい。オイラー方程式の推定調整費用は q 理論の推定調整費用の数十分の一である。本研究の推定調整費用は両者の中間で q 理論の推定値の10分の1程度である。

本論文が分析対象とするのは1990年から2010年までの自動車製造業である。アメリカの自動車製造業は世界有数の規模であり、アメリカ国内でも重要な産業である。2010年には全世界で7,790万台が生産された中でアメリカの生産は約780万台であった。つまり、アメリカは全世界の生産の約10%を占めた。同年のアメリカ製造業の付加価値総額が約2兆ドルであったが、自動車製造業の付加価値は約675億ドルであった。アメリカ自動車製造業はアメリカの全製造業の約3%

第1表 アメリカ自動車産業の設備投資と合併吸収

年	総企業数	設備投資		合併吸収	
		実施企業数	平均投資額	実施企業数	平均支出額
1980	10	10	2,484.4	2	27.4
1981	11	11	2,294.9	0	
1982	12	12	1,606.7	2	58.5
1983	12	11	1,281.9	0	
1984	14	13	1,567.5	1	3,354.4
1985	16	16	1,844.6	3	3,980.2
1986	18	18	2,179.4	1	428.7
1987	17	17	1,932.1	5	715.3
1988	17	17	1,949.1	4	423.4
1989	16	16	2,840.6	4	2,510.3
1990	16	16	3,372.4	3	1,109.8
1991	16	16	3,558.4	4	558.1
1992	16	15	3,281.8	3	265.9
1993	19	19	2,733.3	3	251.8
1994	20	20	3,106.0	7	175.9
1995	20	20	3,416.0	5	179.8
1996	22	22	3,902.8	7	197.5
1997	21	21	4,340.5	7	528.1
1998	19	19	5,422.5	9	397.3
1999	20	20	5,314.3	9	1,688.3
2000	19	19	5,337.5	7	1,483.5
2001	19	19	4,934.9	10	486.6
2002	19	19	5,587.2	6	227.3
2003	18	18	5,834.4	4	-8.1
2004	19	19	6,016.3	6	34.2
2005	19	19	6,307.8	8	195.6
2006	19	19	6,924.7	5	372.8
2007	18	18	6,021.0	7	455.7
2008	16	16	5,813.2	4	470.9
2009	16	16	3,718.6	6	339.3
2010	13	13	4,298.6	4	707.6

出典：Compustat、単位：100万米ドル

を占めた。

1985年のプラザ合意以降、為替レートが大幅に変更され、日欧の自動車企業がアメリカを含む全世界へ生産を分散させた。1980年代後半にはこれら日欧の自動車企業はアメリカの証券取引所に上場された。そして、これらの企業はCompustatデータベースに収録されるようになった。本

論文は Compustat データを利用する関係で 1990 年以降を分析期間に選んだ。

アメリカ産業は 1980 年代半ば以降、大規模な合併吸収を経験してきており、自動車産業もその例外ではない（第 1 表参照）。これが本論文の分析期間を 1990 年から 2010 年の 20 年間を選んだ第二番目の理由である。企業は今や資本ストックの調整に設備投資だけでなく合併吸収も選択できる。しかし、Compustat データベースには設備投資額や合併吸収に伴う支出額は記載されているが、吸収合併に伴う資本ストックの増加額や既存資本ストックの売却などのデータの記載はない。そこで、本論文では設備投資と合併吸収を区別せずに資本ストック全体の調整に焦点を当てる。

本論文は 4 節からなる。1. には分析の基礎となる動的計画法を応用した理論モデルを記述した。2. には積率法による点推定とブートストラップ法による標準誤差の推定について述べる。3. には推定結果が示されており、4. に結論を述べる。

1. 理論モデル

企業は年初に経済状況を観察した後、資本ストックの調整量を決定する。本論文は資本調整が実現されるのに 1 年を要すると仮定している。企業は将来にわたる純利益（ π ）の現在価値が最大になるように資本ストックを調整する。その結果、企業の最適資本調整は次式で示される。

$$\max_{\{K_{t+1}\}_{t=0}^{\infty}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \pi(K_t, K_{t+1}, Z_t) \quad (1)$$

K_0 : given

ここで、 K と Z は資本ストックと経済状況を示す確率変数である。 E_0 は時間 0 における期待値を示す。係数 β は割引ファクターであり ($0 < \beta < 1$)、本論文では 0.95 を仮定している。下付きの t は時間を示す。純利益には営業キャッシュフローと資本調整にかかるすべての費用が含まれる。資本調整には二要素があり、一つ目は新規の設備投資または既存設備の売却による資本ストックの増減に伴う収支、そして二つ目が凸関数型調整費用である。本論文は営業キャッシュフローに確率変数 (Z) を係数とした資本ストック (K) のべき関数を仮定している (ZK^ξ)。また、凸関数型調整費用は二次関数を仮定している。これらの仮定から第 (1) 式は次のように書き替えられる。

$$\max_{\{K_{t+1}\}_{t=0}^{\infty}} E_0 \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[Z_t K_t^\xi - \{K_{t+1} - (1 - \delta)K_t\} - c \left(\frac{K_{t+1} - K_t}{K_t} \right)^2 K_t^\omega \right] \quad (2)$$

K_0 : given

ここで、定数 δ は減価率を示す。第二項は設備投資あるいは既存資本ストックの売却に伴う資本ストック増減の収支を、第三項は二次関数の調整費用をそれぞれ示す。第 (2) 式では資本財の価格を numeraire としている。指数 ω は多くの文献では整数を仮定しているが本論文では小数も

許容する。本論文は調整費用関数の係数 (c) と指数 (ω) の点推定に積率法を用い、その標準誤差をブートストラップ法で推定する。指数が1に等しいと仮定した先行研究では、q理論では係数推定値は5以上となり（例えば、Shapiro, 1986を参照）、オイラー方程式を応用した理論では0近傍の係数推定値が得られている（例えば、アメリカ自動車産業の場合0.2、Hall, 2004を参照）。Cooper と Haltiwanger（2006）は彼らの実証研究で係数も指数も1と仮定して分析している。本論文の結果は係数推定値が約3であり、指数推定値は約0.8であった。

第（2）式へは動的計画法が適用できる¹。最適なレベルの資本ストックは次式に示すベルマン方程式の解（政策関数）となる。

$$V(K, Z) = \max_{\{K'\}} [r(K, K', Z) + \beta E_Z V(K', Z')] \quad (3)$$

ここで V と r は価値関数と報酬関数（reward function）を示す。 E_Z は Z についての条件付き期待値を示す。プライム（'）は次期の数値を示す。資本ストックの調整の実現に1年を要するという仮定から今期の営業キャッシュフローは第（3）式に含まれない。また、本論文は確率変数にマルコフ連鎖を仮定しており、その推移確率行列を Π で示す。これらの仮定から報酬関数は次式で表せる。

$$r(K, K', Z) = -\{K' - (1 - \delta)K\} - c \left(\frac{K' - K}{K} \right)^2 K^\omega + \beta (\Pi^T Z) K'^\zeta \quad (4)$$

ここで $E_Z Z = \Pi^T Z$ であり上付きの T は転置行列を示す。本論文は第（4）式を数値解法により解くことで得られる政策関数を最適レベルの資本ストックの予測値とする。政策関数は今期の資本ストックレベルと経済環境を示す確率変数の関数である。第1図に示すように資本ストックの調整率 ($y \equiv \{K' - (1 - \delta)K\} / K$) の最頻値は減価率 (0.1054) にほぼ等しいため、総投資でなく純投資を使って調整費用関数を記述した。この調整費用が無いとした時の資本調整率は観察される資本調整率より大幅に変動する。

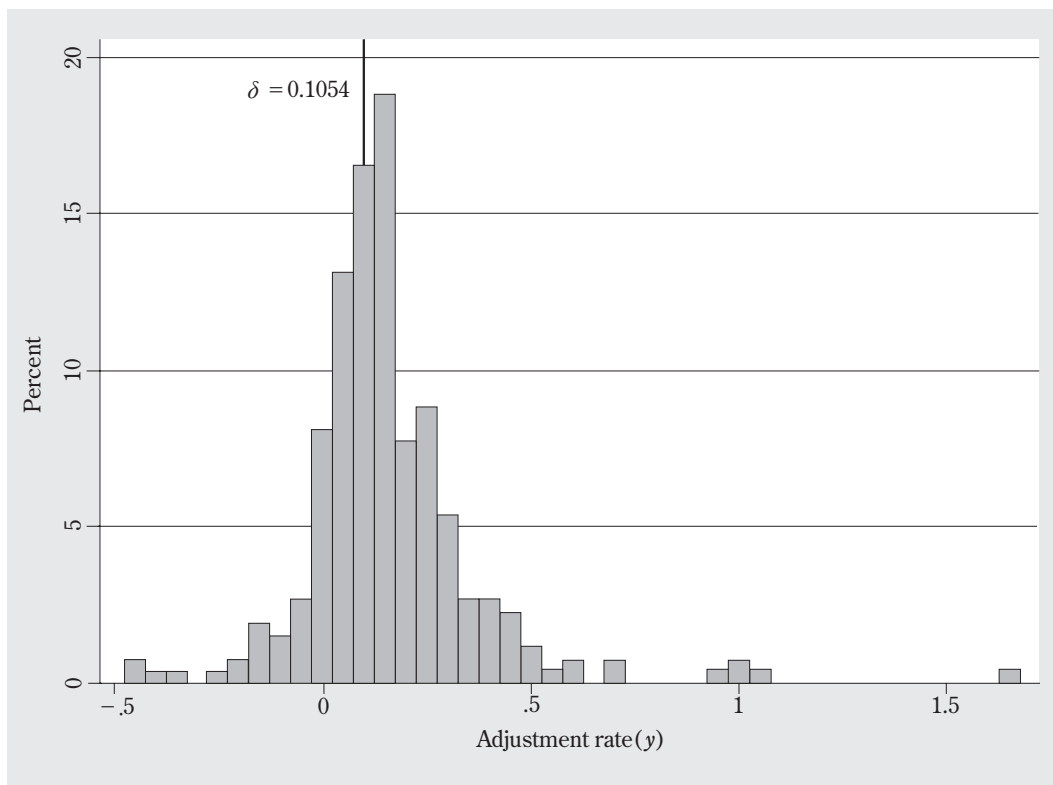
2. 推定

本論部では政策関数から予測される資本ストックの調整率と観察された調整率の比較から調整費用関数の係数と指数の点推定を求める。この比較は積率法による。また、標準誤差や信頼区間はブートストラップ法による²。つまり、各ブートストラップ標本から係数と指数の点推定を求めることで標準誤差や信頼区間を求める。さらに、営業キャッシュフローの指数 (ζ) は資本ストックの調整率の観測値と予測値の相関係数が高くなるように選ぶ。最後に、ブートストラップ標本から求

¹ 動的計画法については Stokey, Lucas, Jr. and Prescott (1989) や Sundaram (1996) などを参照。

² ブートストラップ法については Efron and Tibshirani (1993) などを参照。

第1図 資本ストックの調整率のヒストグラム



めた係数推定値と指数推定値の平均値と積率法の点推定の比較をマルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) シミュレーションにより行った。

営業キャッシュフローの指数 (ζ) を仮定すると営業キャッシュフローと資本ストックの ζ 乗の除算により確率変数 (Z) が推定できる。本論文は Z に状態数が10のマルコフ連鎖を仮定している。マルコフ連鎖の推移確率行列 (Π) は全企業に共通であるが、マルコフ連鎖の各状態の数値は企業ごとに異なると仮定している。推定された Z の対数を企業ごとの平均値と標準偏差で標準化しその十分位から Π を求めた。第2表 (a) に企業ごとの Z の対数の平均値と標準偏差を示す。第2表 (b) には標準化された Z の対数の十分位の記述統計量を示す。第2表 (c) と (d) には観察された推移と推定された推移確率行列を示す。

減価率 (δ) はアメリカ自動車産業の減価率の平均値を使った。アメリカ経済分析局 (Bureau of Economic Analysis) が資本減価を含む有形固定資産のデータを毎年公表しており、本論文で用いる数値 (0.1054) は分析期間の20年の平均値である。分析単位は事業所レベルでなく企業レベルであり、データの出典は Compustat である。営業キャッシュフローには項目番号13、資本ストックには項目番号8のデータを用いた。第3表 (a) にデータの記述統計量を示す。

第2表 確率変数の推定値 (Z)

(a) 企業ごとの Z

	Ticker	NAICS	平均値	標準偏差
1	DDAIF	33611	5.007	0.741
2	F	33611	5.586	0.638
3	FIATY	33611	4.809	0.477
4	FSS	33612	2.411	0.510
5	GM	33611	5.745	0.373
6	HMC	33611	4.571	0.708
7	NAV	33612	3.438	1.028
8	NSANY	33611	4.908	0.455
9	OSK	33612	2.677	1.154
10	PCAR	33612	3.683	0.738
11	SPAR	33612	1.386	0.627
12	TM	33611	5.476	0.354
13	VOLVY	33612	4.145	0.861

Remark: NAICS 33611 - Automobile and Light Duty Motor Vehicle Manufacturing
 NAICS 33612 - Heavy Duty Truck Manufacturing

(b) 標準化された Z の対数の記述統計量

十分位	標本数	中央値	平均値	最小値	最大値
第1位 (最低)	27	0.2018	0.1858	0.0287	0.3374
第2位	27	0.4685	0.4571	0.3449	0.5650
第3位	27	0.6806	0.6878	0.5669	0.8246
第4位	28	0.9426	0.9764	0.8538	1.1401
第5位	27	1.2532	1.2700	1.1460	1.4240
第6位	27	1.5632	1.5650	1.4408	1.7561
第7位	28	1.9572	1.9481	1.7773	2.1450
第8位	27	2.4298	2.4185	2.1487	2.6482
第9位	27	3.1922	3.2056	2.6815	3.7916
第10位 (最高)	28	4.3985	5.2425	3.8011	15.5282
全データ	273	1.4408	1.8059	0.0287	15.5282

(c) 観察された推移

十分位	次 期										合計	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
第1位	10	8	5		1	1	1	1				27
第2位	9	3	8	2	1	3						26
第3位	1	6	2	10	3	2	1					25
第4位		2	3	6	7	6	2	1				27
第5位	1	2		2	2	8	5	4		1		25
第6位	2	1		2	4	3	5	5	2			24
第7位	2	1	2	1	5	2	4	7	3	1		28
第8位			3	1	2		5	5	7	3		26
第9位				1	1		2	4	12	5		25
第10位	1		2	1		1	1		3	18		27
合計	26	23	25	26	26	26	26	27	27	28		260

(d) 推移確率行列 (推定)

0.5012	0.2422	0.0858	0.0184	0.0287	0.0389	0.0374	0.0285	0.0000	0.0189
0.2422	0.3066	0.2457	0.0863	0.0502	0.0433	0.0197	0.0000	0.0000	0.0000
0.0858	0.2457	0.1389	0.2387	0.0786	0.0774	0.0476	0.0588	0.0000	0.0285
0.0184	0.0863	0.2387	0.1692	0.1543	0.1721	0.0563	0.0476	0.0197	0.0374
0.0287	0.0502	0.0786	0.1543	0.1134	0.2371	0.1721	0.0774	0.0493	0.0389
0.0389	0.0493	0.0774	0.1721	0.2371	0.1134	0.1547	0.0786	0.0502	0.0287
0.0374	0.0197	0.0476	0.0563	0.1721	0.1543	0.1692	0.2387	0.0863	0.0184
0.0285	0.0000	0.0588	0.0476	0.0774	0.0786	0.2387	0.1389	0.2457	0.0858
0.0000	0.0000	0.0000	0.0197	0.0493	0.0502	0.0863	0.2457	0.3066	0.2422
0.0189	0.0000	0.0285	0.0374	0.0389	0.0287	0.0184	0.0858	0.2422	0.5012

売上高や資本ストックについてサンプル内の大企業は小企業の数千倍大きい。営業キャッシュフローはGDPデフレーターで実質化し、資本ストックはアメリカ経済分析局の有形固定資産データで実質化してある。本論文は1990年から2010年まで連続して操業している企業を選んでおり、データセットは完備パネルデータである。分析対象の企業数は13であり、観測数は260である。第3表(b)にアメリカ自動車産業の経済センサスのデータを示す。

本論文では調整費用関数の係数と指数の推定に積率法を適用する。したがって、調整率について

第3表 自動車産業

(a) Compustat データ

2000 年度、企業数 13				
	Mean	Median	Minimum	Maximum
売上高 (R)	69,321.3	55,355.0	283.377	203,517.9
営業キャッシュフロー	9,382.3	4,084.6	11.476	39,472.3
資本ストック (K)	23,969.6	11,491.9	24.557	82,826.0
1990 年度から 2010 年度、観察数 273、2000 年価格				
	Mean	Median	Minimum	Maximum
売上高 (R)	66,302.4	52,318.6	70.162	247,023.6
営業キャッシュフロー	7,566.4	3,351.1	-4,038.167	40,174.3
資本ストック (K)	22,242.4	11,984.4	6.711	92,257.2

備考

- (1) 売上高は項目番号 12。
 (2) 単位：100 万米ドル

(b) 経済センサスデータ

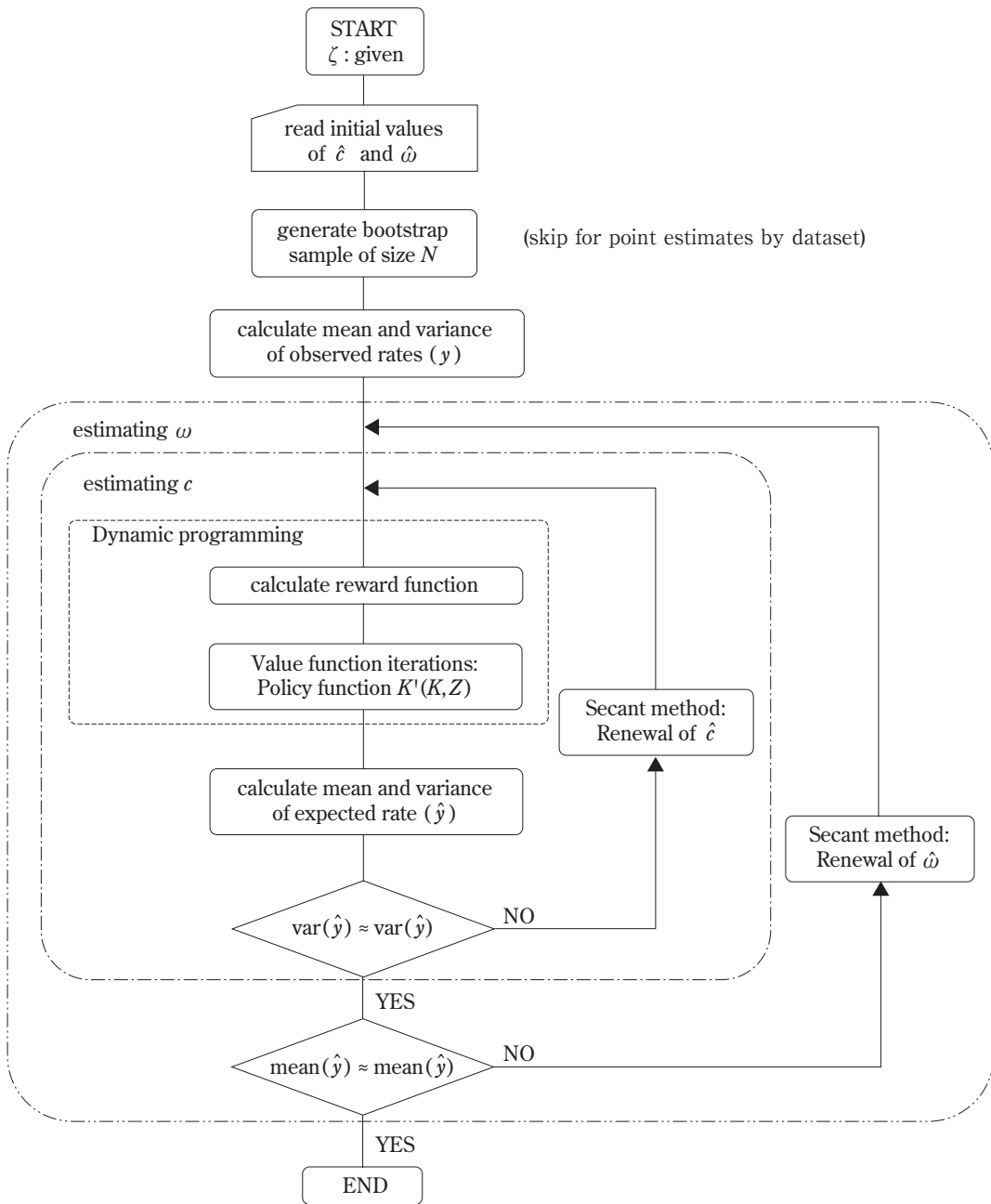
年	出荷高	人件費	原材料費	付加価値	売上比率	
	(R)	(wL)	(qM)	(R - qM)	(wL/R)	(qM/R)
1992	159,859,700	11,869,200	110,916,400	48,903,300	0.07425	0.69384
1997	220,052,857	13,022,700	147,707,890	72,574,976	0.05918	0.67124
2002	243,883,598	14,546,225	171,132,545	72,686,381	0.05964	0.70170
2007	262,236,645	13,619,094	188,632,977	73,382,325	0.05193	0.71932
				平均値	0.06125	0.69652

備考

- (1) 産業コード
 1992：SIC3711 (Motor Vehicles and Passenger Car Bodies),
 SIC3713 (Truck and Bus Bodies),
 SIC3715 (Truck Trailers)
 1997, 2002, 2007：NAICS3361 (Motor Vehicle Manufacturing Industry)
 (2) 単位：1,000 米ドル

予測値と観測値の平均値と分散は等しい。係数推定値と指数推定値の標準誤差はブートストラップ標本数が 512 のブートストラップ法により求める。ブートストラップ標本とはデータセットから復元抽出した標本のことである。第 2 図に積率法のフローチャートを示す。積率法は割線法 (secant method) による。本論文では係数推定と指数推定を二重の入れ子にしている。内側推定では所与

第2図 積率法のフローチャート



の指数に対して調整率の分散が等しくなる係数推定値を求める。次いで、外側推定では内側推定で求めた係数推定値に対して調整率の平均値が等しくなる指数推定値を求める。最後に、調整率の予測値と観測値の相関係数が最大になるように営業キャッシュフローの指数を求める。本論文では推定された係数と指数を使って MCMC シミュレーションも実行した。

本論文が使うプログラムは報酬関数、価値関数や政策関数を離散化する。資本ストックの分析範囲は 8.85 百万米ドルから 160,238 百万米ドルであり、データ範囲は 6.71 百万米ドルから 92,257 百万米ドルである。分析範囲は 1,024 点に離散化されている。プログラムは価値関数繰り返し法 (value function iteration) を用い 260 個の各データにつき 50 回から 100 回の繰り返しが必要であった³。ブートストラップ法は計算回路 (コア) を 2,048 個有し計算能力が 18.8GFLOPS のスーパーコンピュータに依った。プログラム言語は Fortran でメモリ共有型並行計算に Open Multi-Processing (通常 OpenMP と呼ばれる)、メモリ分散型並行計算に Message Passing Interface (通常 MPI と略される) を用いた。本論文は 4 コアで 1 プロセスを構成し合計 512 プロセスに各ブートストラップ標本を分配した。つまり各プロセスが一組のブートストラップ標本から係数と指数を推定した。ブートストラップ標本の分析は 4 コアに設定されたメモリ共有型並行計算に依った。全 CPU 時間は 7,000 時間から 10,000 時間であった。データセットの点推定には 140GFLOPS のコンピュータに依った。これは PC の数倍の計算速度に相当する。データセットの点推定は Fortran と OpenMP に依った。

3. 結果

第 4 表にデータセットの点推定とブートストラップ標本から求めた 512 個の推定値の平均値ならびに調整率の観測値と予測値の相関係数を示す。指数 ζ の値が大きくなるにつれ係数推定値は大きくなるが指数推定値は小さくなる。同時に、調整率の観測値と予測値の相関係数は最初大きくなり ζ が 0.38 の時最大になり、その後小さくなる。したがって、本論部ではの値として 0.38 を選択する。データセットの点推定とブートストラップからの推定値の平均値は、 ζ が 0.38 の時、係数推定値がデータについて 3.1086 と 3.1025 ($=e^{1.1322}$)、指数推定値について 0.7984 と 0.8051 であり非常に近い結果を示した。

三種類の投入物 (原材料、労働、資本) に対し一次同次のコブ・ダグラス型生産関数を仮定し、生産物の市場の価格弾力性は価格に依らず一定 (iso-elastic) と仮定すると営業キャッシュフローの指数 ζ は次式で書ける。

$$\zeta = \frac{(1 - \alpha - \gamma) \{1 - (1/\varepsilon)\}}{1 - (\alpha + \gamma) \{1 - (1/\varepsilon)\}}. \quad (5)$$

ここで、 α と γ はコブ・ダグラス型生産関数の労働と原材料に対する指数であり、 ε は生産物の価格弾力性である。同じ仮定の下で生産量に対する労働と全材料の比率はそれぞれ $\alpha \{1 - (1/\varepsilon)\}$ と γ

³ 価値関数繰り返し法は動的計画法を数値的に解く方法の一つ。例えば、Adda and Cooper (2003) や Judd (1998) を参照。

第4表 データセットの点推定とブートストラップの点推定の平均値

ζ	データセットの点推定			ブートストラップ点推定の平均値		
	c	ω	$\rho(\hat{y}, y)$	$Log(c)$	ω	$\rho(\hat{y}, y)$
0.35	0.8500	0.9801	0.2350	-0.1522 (0.6572)	0.9844 (0.0921)	0.2355 (0.0603)
0.36	1.2585	0.9247	0.2419	0.2286 (0.6159)	0.9293 (0.0846)	0.2417 (0.0603)
0.37	1.9468	0.8633	0.2430	0.6285 (0.6334)	0.8750 (0.0841)	0.2466 (0.0606)
0.38	3.1086	0.7984	0.2458	1.1322 (0.6764)	0.8051 (0.0897)	0.2527 (0.0581)
0.39	5.0812	0.7341	0.2450	1.6739 (0.6872)	0.7365 (0.0874)	0.2455 (0.0607)
0.40	8.8960	0.6622	0.2420	2.2095 (0.7162)	0.6630 (0.0914)	0.2445 (0.0564)
0.41	16.0796	0.5888	0.2392	2.8335 (0.7810)	0.5872 (0.0960)	0.2424 (0.0555)
0.42	31.1077	0.5094	0.2351	3.4759 (0.8271)	0.5081 (0.0995)	0.2347 (0.0584)

備考 (1) ブートストラップ標準誤差を () 内に示す。(2) ブートストラップ標本数は 512。(3) $e^{1.1322} = 3.1025$

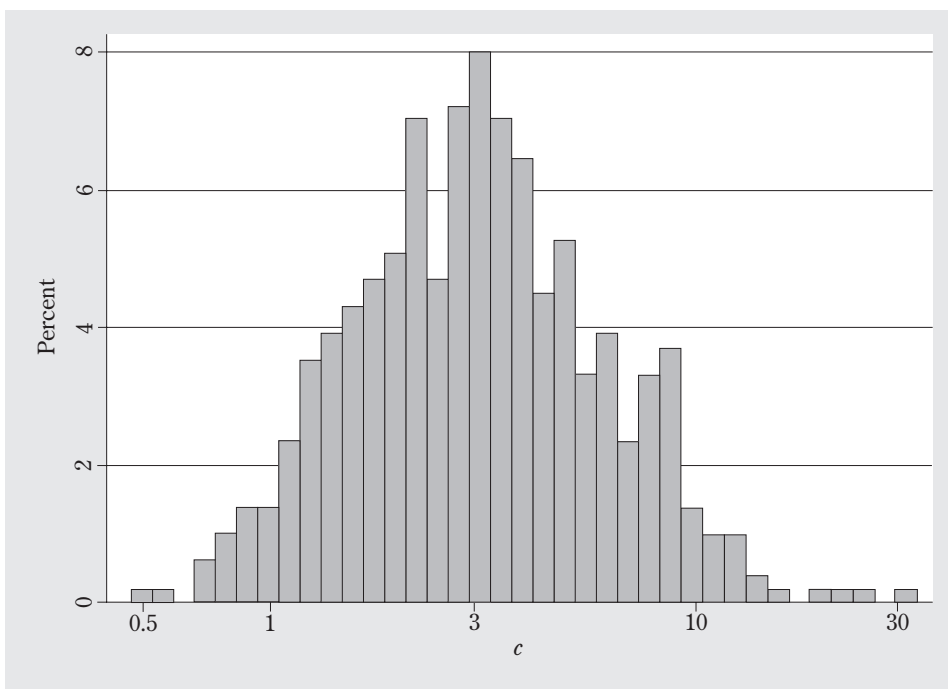
$\{1 - (1/\varepsilon)\}$ に等しくなる。第3表 (b) に示すようにこれらの比率は労働について 0.06125 であり、原材料について 0.69652 である。その結果、 $\zeta = 3.8$ 、 $\alpha = 0.072$ 、 $\gamma = 0.82$ 、 $\varepsilon = 6.66$ となる。Taylor and Houthakker (2009) による自動車産業の価格弾性値の推定値は 8.1159 であった。これは本論文の推定値は大きくかい離していない。

第3図にはブートストラップ標本からの係数推定値と指数推定値のヒストグラムを示す。係数推定値の最大値は最小値の約 60 倍になる。指数推定値の最大値は最小値の約 2 倍である。係数推定値の分布は左に偏り右に長く尾を引いているので第3図 (a) の横軸は対数目盛になっている。係数推定値の最大値は最小値の約 60 倍である。また、係数推定値の対数のブートストラップ 90% 信頼区間は 0.0488 から 2.2203 であり、対応する係数推定値の 90% 信頼区間は 1.0500 から 9.2101 である。また、指数推定値のブートストラップ 90% 信頼区間は 0.6611 から 0.9556 であり、多くの先行研究が仮定する 0、1 または 2 の整数は信頼区間外に相当する。

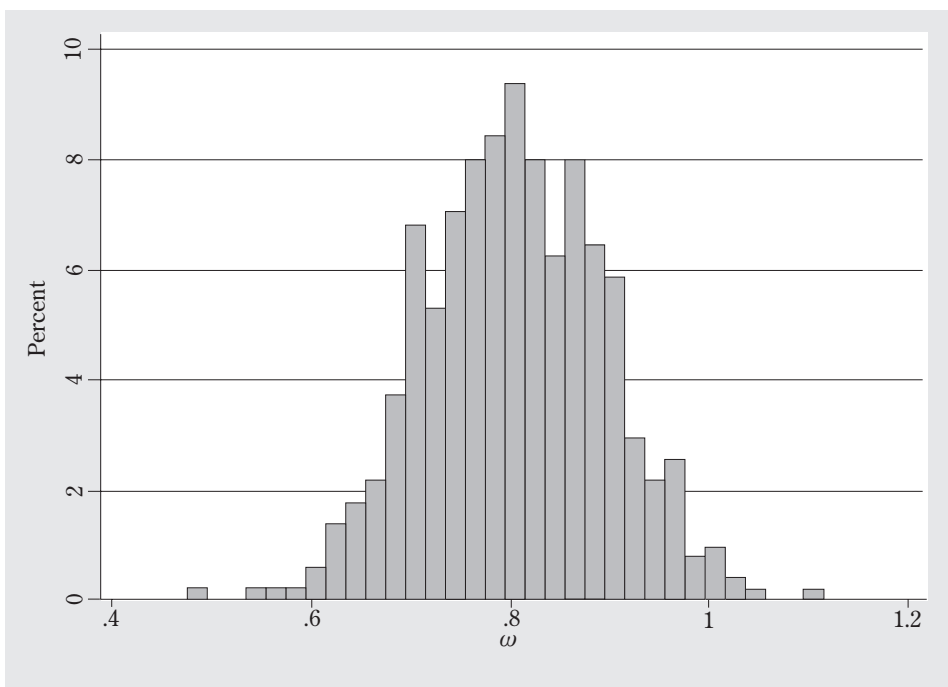
先行研究で推定された調整費用と比較するため、各ブートストラップ標本から推定された係数と指数から資本ストックの平均値 ($K = 22,242.4$) と中央値 ($K = 11,984.4$) について調整費用を計算した。第4図にそれぞれの資本ストックに対応する調整費用推定値のヒストグラムを示す。第4図には第1図に示される観測された調整率の標準偏差に等しい 0.2151 の調整率に対する調整費用の

第3図 ブートストラップ標本から推定された奇数と指数のヒストグラム

(a) 係数推定値



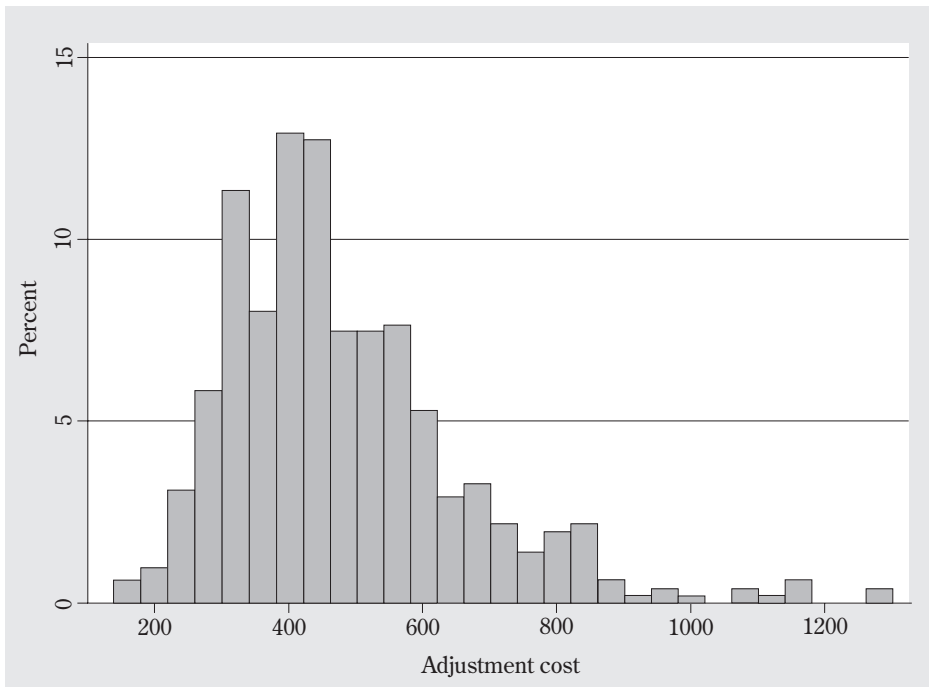
(b) 指数推定値



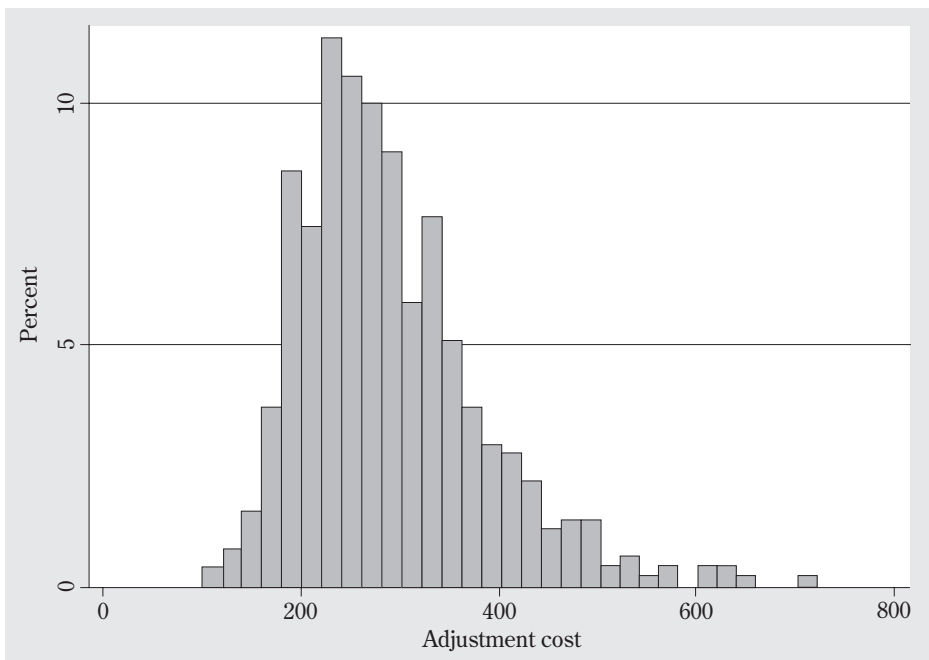
備考 $\zeta = 0.38$

第4図 調整費用推定値

(a) 資本ストックの平均値の場合 ($K = 22,242.4$)



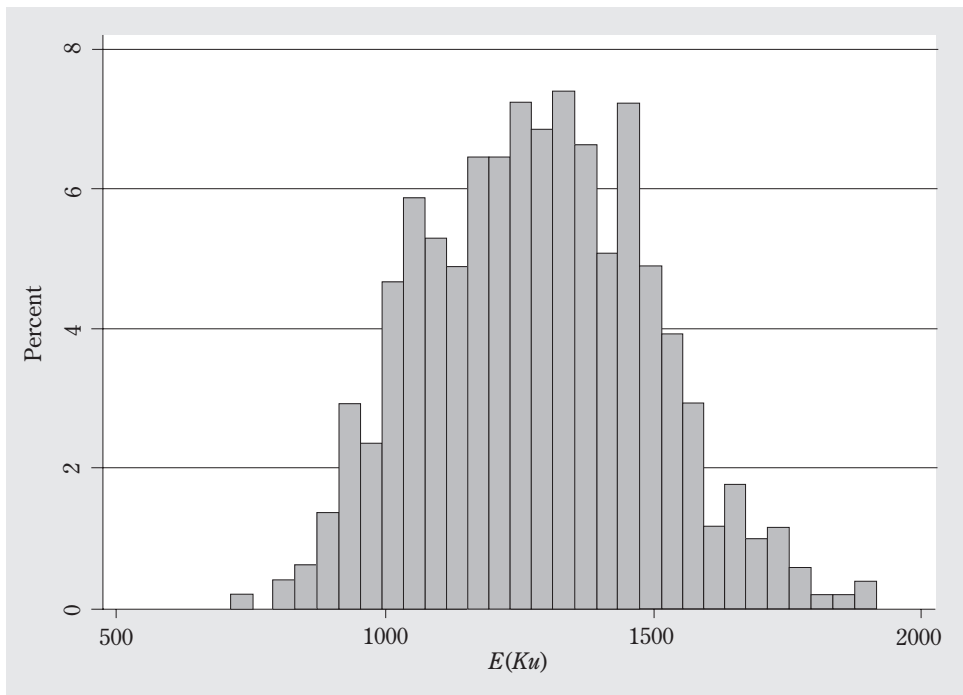
(b) 資本ストックの中央値の場合 ($K = 11,984.4$)



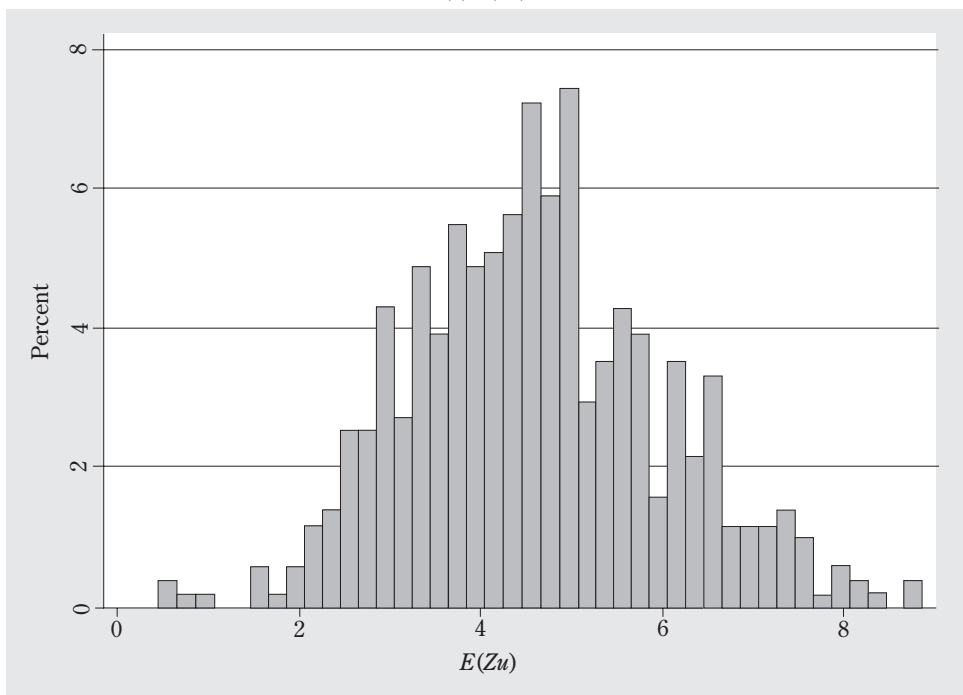
備考 調整率 = 0.2151

第5図 期待値 ($E(Ku)$ と $E(Zu)$) のヒストグラム

(a) $E(Ku)$



(b) $E(Zu)$



第5表 調整率の点推定とシミュレーションの記述統計量

	点推定	シミュレーション	
		データセット	ブートストラップ
平均値	0.1602	0.1601	0.0775
分散	0.0463	0.0467	0.0627
歪度	2.0544	0.5068	0.4663
尖度	14.1066	2.4683	2.5059
データとの相関係数		0.2458	0.2402

備考 $N = 260$ 、 $B = 512$

大きさが示されている。第3図(a)に示される係数推定値の範囲に比べ、調整費用推定値の範囲は小さい。調整費用推定値の最大値は最小値の約7倍である。また、調整費用推定値は資本ストックの1%から10%に相当する。営業キャッシュフローの平均値と中央値が7,566.2百万米ドルと3,355.1百万米ドルであるから調整費用推定値はその2.5%から20%に相当する。

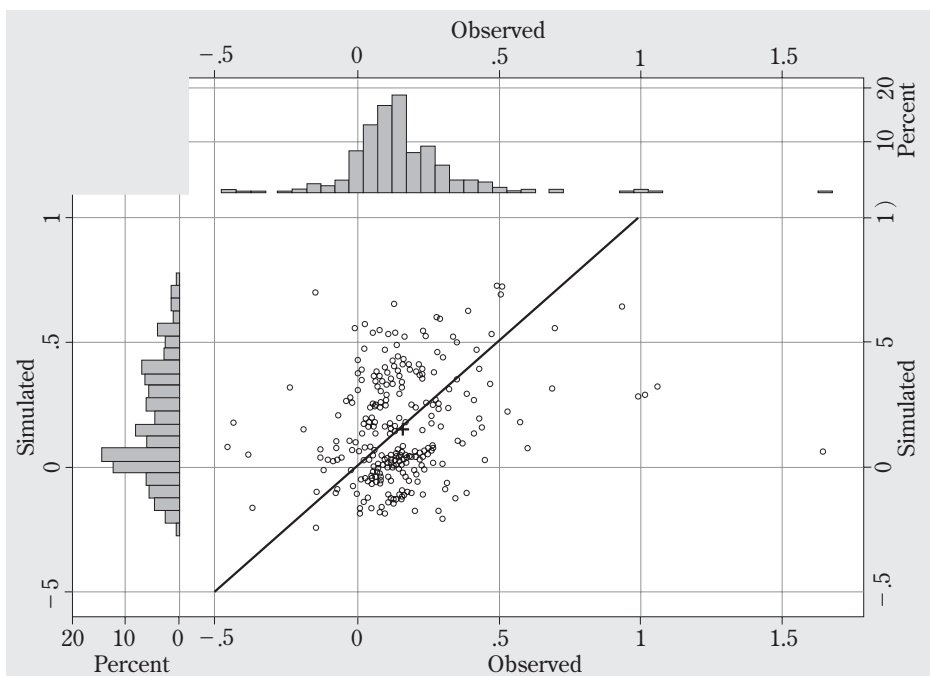
先行研究との比較ではShapiro(1986)がq理論をもとに指数が1と仮定して分析して係数推定値が5を得ているが、これに対応する推定調整費用は資本ストックの平均値に対して5,146百万米ドル、中央値に対して2,772百万米ドルとなる。この推定調整費用は本論文の約10倍であり、しかも係数推定値の5はq理論を基にした先行研究の中では低い値である。一方、Hall(2004)がオイラー方程式を基に分析して係数推定値として0.2を得た。これに対応する調整費用推定値は資本ストック平均値に対して206百万米ドル、中央値に対して111百万米ドルとなる。これらの推定値は第4図のヒストグラムの下限值に近い値である。Hall(2004)は多数の産業について係数を推定しているが係数推定値は多くが0.2以下であった。本論文の調整費用推定値はq理論とオイラー方程式を基にした分析の中間にあたる。CooperとHaltiwanger(2006)による調整費用推定値は資本ストック平均値に対して1,029百万米ドル、中央値に対して554百万米ドルであり、これらは本論文の調整費用推定値のヒストグラムの上限値に近い。

本論文の予備調査で非線形最小2乗法を用いて推定を行ったが、調整費用関数の係数と指数を過大に推定する傾向があった。これは識別に問題がある可能性を示す。これが本論文では非線形最小2乗法でなく積率法を選択した理由である。非線形推定法は「推定誤差の条件付き期待値がゼロである」と仮定している。これから説明変数と誤差項に相関が無いことになる。第5図に説明変数と誤差項の相関はゼロではない可能性が高いことが示されている。したがって、推定誤差の条件付き期待値がゼロという非線形推定法の仮定が満たされていない。これが、非線形最小2乗法が過大な推定をする原因と考えられる。

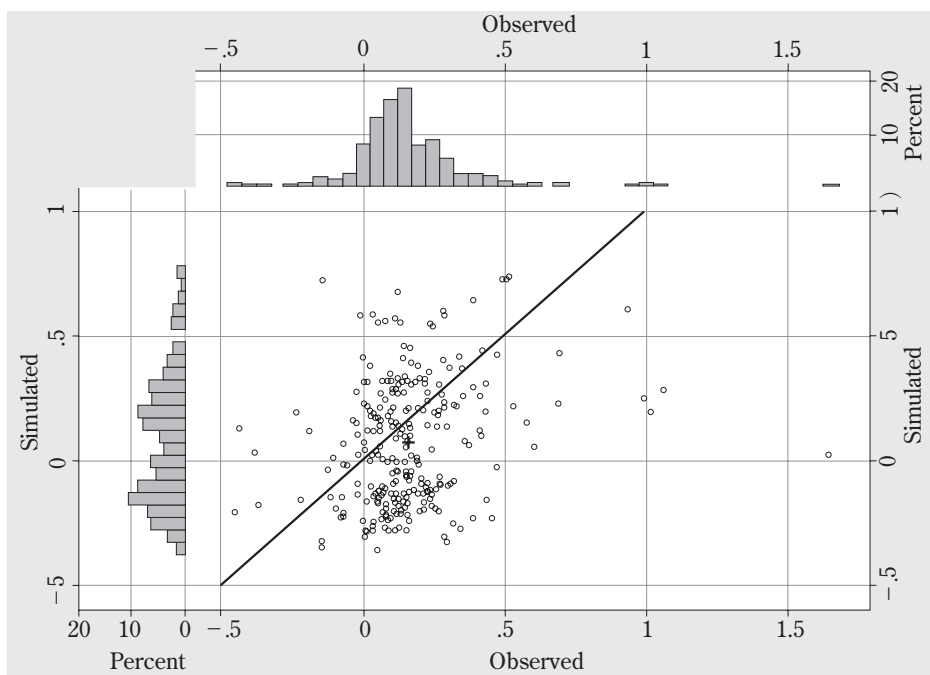
第5表に資本ストックの調整率推定値の記述統計量を示す。第一列はデータセットからの点推定で第二列はデータセットの点推定を基にしたシミュレーション結果、第三列はブートストラップ標

第6図 調整率の観測値とシミュレーション

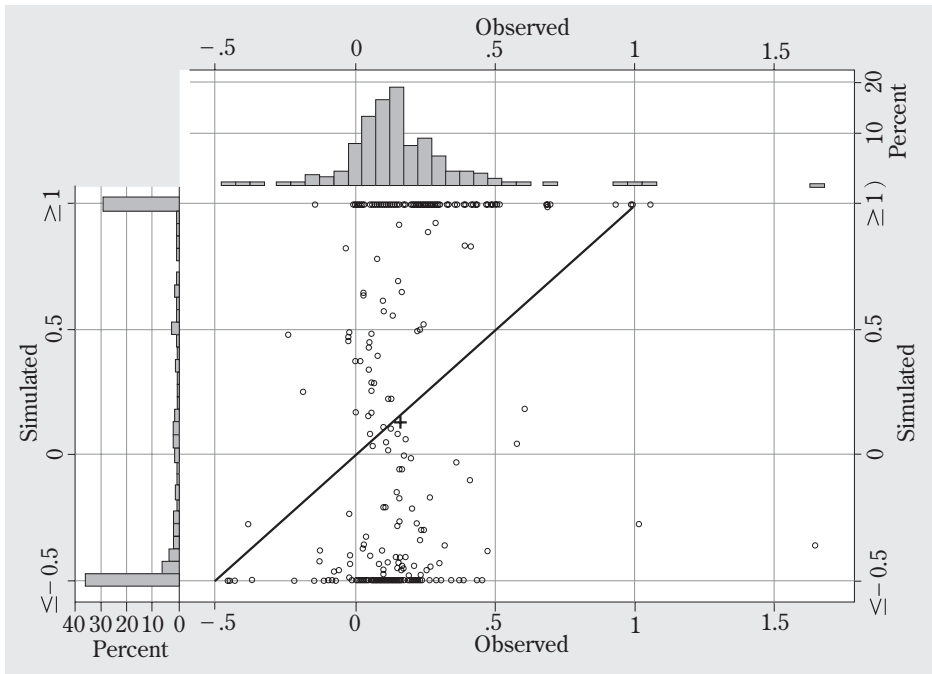
(a) データセットの点推定によるシミュレーション



(b) ブートストラップ推定値の平均値によるシミュレーション



(c)調整費用の無い場合のシミュレーション



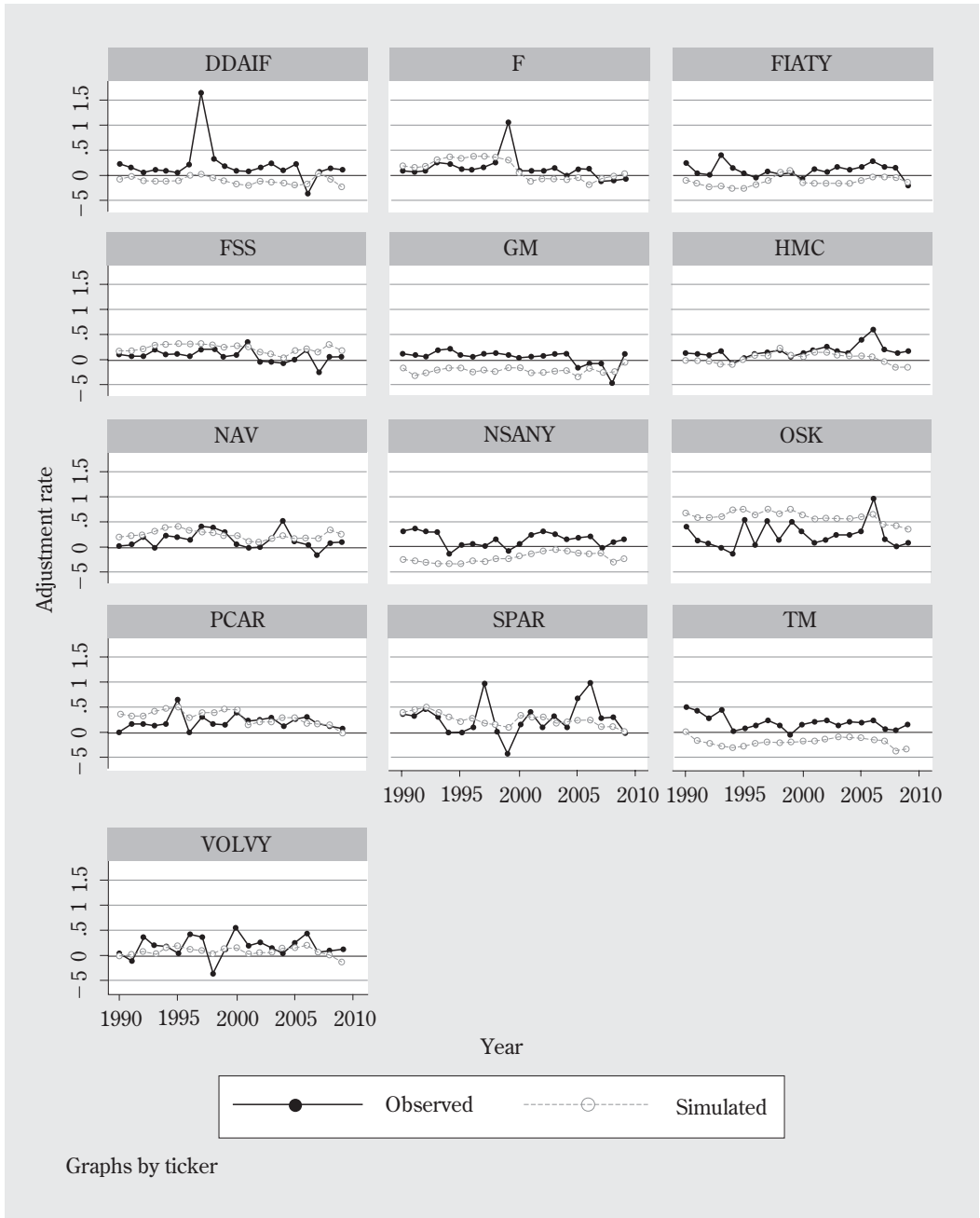
備考 「+」記号は平均値の座標を示す。

本からの推定値の平均値を基にしたシミュレーション結果である。三者の平均値や分散は一致していない。

第6図 (a) と (b) に調整費用のある場合の資本ストックの調整率についてのシミュレーションと観測値のヒストグラムと散布図を示す。データセットの点推定とブートストラップ法による推定値の平均値に大きな差はなかったが両者のヒストグラムには明白な差異がみられる。それは、例えば、データセットのヒストグラムが単峰制であるのに対しブートストラップのヒストグラムは双峰性である。第6図 (c) に調整費用の無い場合の調整率のヒストグラムを示す。分布が広範囲に広がっており、-50% 以下や100% 超の予測値が多数を占める。凸関数型調整費用が加わるとこのような大きな調整は非経済的になり、予測値は純投資ゼロの周辺、つまり減価率 (10.54%) の周辺に予測値が集積してくる。

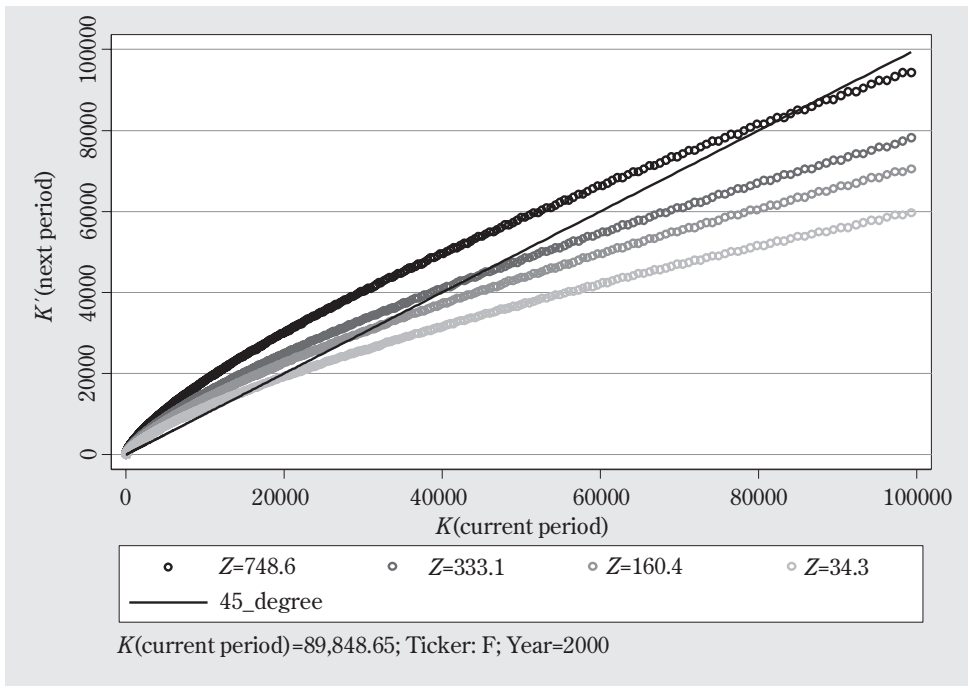
第7図に企業ごとの調整率の推移について観測値とシミュレーション結果を折れ線グラフで示す。シミュレーションは小さな変動をよく再現しているが大きな変動は再現できていない。例えば、DDAIF社とF社は1990年代後半に突発的に大きな変動を示すがシミュレーションはこの変動を再現できていない。FSS社、NAV社、OSK社、PCAR社とSPAR社のトラック製造5社 (VOLVY社は除く) について、シミュレーションは実際より高い調整率を予測している。これら5社は乗用車製造企業やVOLVY社に比べ企業規模が小さい。

第7図 企業ごとの調整率の推移

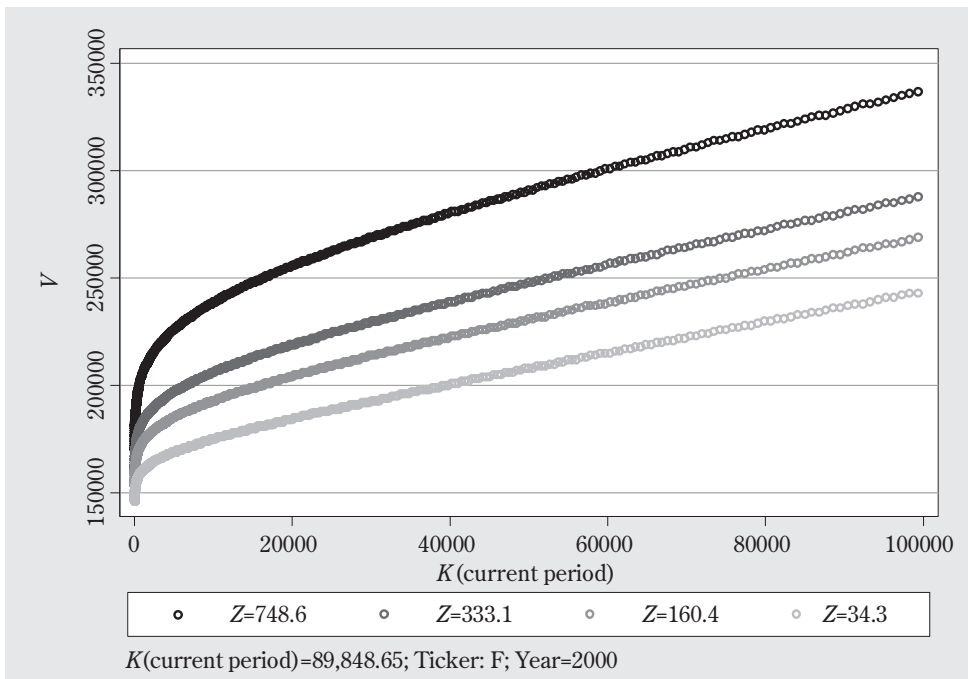


第8図 政策関数、価値関数および報酬関数

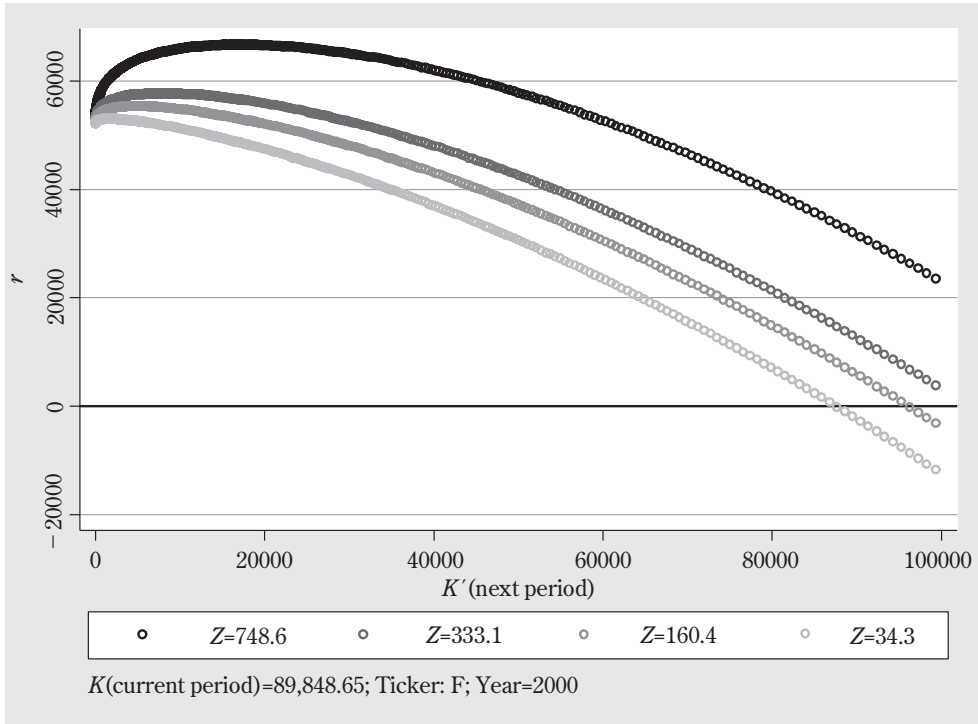
(a) 政策関数 $K'(K, Z)$



(b) 価値関数 $V(K, Z)$



(c) 報酬関数 $r(K, K', Z)$



備考 $\zeta = 0.38, c = 3.1086, \omega = 0.7984$

第8図に政策関数、価値関数および報酬関数の例を示す。図中の小円は数値解法の離散点を示している。図は離散関数であるが各関数は滑らかに連続しており、連続関数を離散化するのに1,024点で十分なことを示している。

4. 結論

本論文は資本ストックの調整にかかる凸関数型調整費用を研究した。研究対象とした産業はアメリカ自動車産業であり、研究期間は1990年から2010年までの20年である。凸関数型調整費用を推定し先行研究の推定結果と比較した。

推定方法は非線形推定法でなく積率法に依った。理由は非線形推定法が係数や指数を過大に推定する傾向があり、その根底にある「条件付き期待値はゼロ」という仮定が満たされない懸念があるためである。調整関数の係数や指数を仮定することなくベルマン方程式を数値的に解き得られた政策関数を資本ストックの調整率の推定に用いた。また、推定値の標準誤差はブートストラップ法により計算した。これらの推定には大量の計算が必要となるため本論文はスーパーコンピュータを利用した。

本論文が予測した調整費用は q 理論を基にした予測値を下回り、オイラー方程式を基にした予測値を上回る数値であった。本論文の予測値は Shapiro の q 理論予測値の約 20% であり、Hall のオイラー方程式予測値は本論文の推定値の下限値にほぼ等しい。先行研究の仮定とは異なり本論文が推定した調整費用関数は同次ではない。先行研究では整数が仮定される資本ストックにかかる指数は本論文では 0.8051 と推定され、90% 信頼区間は整数 1 を含まない。

本論文の理論モデルでは調整率や次期資本ストックの予測値は経済状況を示す確率変数の関数であり、この確率変数は営業キャッシュフローから推定した。つまり、本論文は営業キャッシュフローと資本調整率を関連させている。推定された調整関数を使ったシミュレーションでは極端に大きな変動を除けば観察された資本ストックの変動を再現している。しかし、設備投資のための資金調達などの営業キャッシュフロー以外の要因は分析から除かれている。大企業は十分な資金調達力があるのに対し、中小の企業は自己資金も外部資金の調達も十分でない可能性がある。本論文では比較的規模の小さいトラック産業の調整率が予測値より小さいことはこの資金調達力の差で説明することができるかもしれない。

謝辞

Wharton Research Data Services (WRDS) was used in preparing this analysis. This service and the data available thereon constitute valuable intellectual property and trade secrets of WRDS and/or its third-party suppliers.

本論文は東京大学情報基盤センター所有の HA8000 スーパーコンピュータと大阪大学サイバーメディアセンター所有の FX-8R スーパーコンピュータを使用しており、両大学がそのスーパーコンピュータの使用を許可したことに感謝する。本論文は亜細亜大学特別研究制度の適用を受けたものであり、亜細亜大学の研究支援に感謝する。本論文の初稿は客員研究員として滞在した米インディアナ大学で執筆されておりインディアナ大学の支援に感謝する。なお、本論文の内容や意見はこれらの機関とは無関係であり、その責はすべて著者が負うものである。

参考文献

- Abel, A. and J. Eberly(1996), "Optimal Investment with Costly Reversibility," *Review of Economic Studies*, 63, 581-593.
- Abel, A. and J. Eberly(1998), "The Mix and Scale of Factors with Irreversibility and Fixed Costs of Investment," *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, 48, 101-135.
- Adda, J. and R. Cooper(2003), *Dynamic Economics*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Cooper, R. and J.C. Haltiwanger(2006), "On the Nature of Capital Adjustment Costs," *Review of Economic Studies*, 73, 611-633.
- Efron, B. and R. J. Tibshirani(1993), *An Introduction to the Bootstrap*, Chapman and Hall, Boca Raton, Flor-

ida.

Hall, R. E.(2004), "Measuring Factor Adjustment Costs," *Quarter Journal of Economics*, 119, 899-927.

Judd, K. L.(1998), *Numerical Methods in Economics*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

McDonald, R. and D. Siegel(1986), "Value of Waiting to Invest," *Quarterly Journal of Economics*, 101, 707-728.

Shapiro, M. D.(1986), "The Dynamic Demand for Capital and Labor," *Quarterly Journal of Economics*, 101, 513-542.

Stokey, N. L., Robert E. Lucas, Jr. and E. C. Prescott(1989), *Recursive Methods in Economic Dynamics*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Sundaram, R. K.(1996), *A First Course in Optimization Theory*, Cambridge University Press, Cambridge U. K.

Taylor, L. D. and H. S. Houthakker(2009), *Consumer Demand in the United States: Prices, Income, and Consumption Behavior*, 3rd edition, Springer, New York, New York.

データ出典

Compustat, Standard & Poor's

Economic Census, U.S. Census Bureau.

Fixed Assets Tables, Bureau of Economic Analysis.

Production Statistics, International Organization of Motor Vehicle Manufactures.