

情報通信技術の発展が市場に与える影響の計量分析

代表研究者 春日 教 測 甲南大学 経済学部 教授
共同研究者 小 津 敦 東京大学大学院 工学系研究科 博士課程

1 はじめに

1.1 クラウドコンピューティングと日本のクラウドコンピューティング市場

米商務省(Department of Commerce)の国立標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology: NIST)は、2011年9月にクラウドコンピューティング(以下、「クラウド」と呼ぶ)の定義を策定しており、その中で、クラウドには、①オンデマンドセルフサービス(利用者がクラウドの使用量を自由に決める)、②様々なネットワークアクセス(様々なネットワーク経由でクラウドを利用できる)、③リソースの共有(クラウド事業者の物理的/仮想的リソースは集約され動的に割り当てられ複数の利用者が利用する)、④素早い拡張(クラウドのリソースは限度なく即座に提供される)、⑤計測可能なサービス(クラウドの使用量は計測され利用者に明示される)という5つの基本的特徴があるとしている。

こうした特徴を持つクラウドを導入することにより、従来、コンピュータのハード、ソフト、データ等を自社で保有し、運用し、管理した上で処理していた作業を、外部のクラウド事業者が用意するプラットフォーム上で、ネットワーク経由でそのプラットフォームにアクセスしながら、処理することが可能となるため、ICTを用いる全セクターにおいて効率化を促す効果がある。また、費用についても、システム導入の際に初期費用として必要であった固定費が、従量制料金に伴う変動費に代わることから、資金の効率的活用が可能となる。自社でシステムを導入する場合、耐用年数内に発生するであろう最大の負荷に対応できるような余裕を持ったスペックが選択されると考えられるが、従量制料金のクラウドの場合、このような余裕は不要であり、その余裕分の費用削減も期待できる。さらに、市場参入費用が低下することにより、企業の新規参入を促す効果も期待できる。クラウドは、国内のICT市場全体の中で占める割合はまだ少ないものの、今後の急速な市場拡大が期待されていることが読み取れる。例えば、IDCやMM総研の予測に基づく、2015年度から2020年度まで、国内ICT市場規模がほぼ横ばいであるのに対し、国内クラウド市場の成長率は年平均約27%(複利計算)となっている。

クラウドは、パブリッククラウドとプライベートに大別される。パブリッククラウドにおいては、利用者は外部クラウド事業者の提供するサービスを従量制料金で利用するため、初期費用が不要となる。一般的にクラウドはこれを指すことが多い。一方、プライベートクラウドにおいては、利用者は初期費用を支払った上で自社内にサーバ等を設置し社内的にクラウドを利用する。この場合、サーバ仮想化等の効果はあるものの、そのマクロ経済への影響は従来のICT投資を大幅に超えることはないと考えられる。こうした点を踏まえ、本論文では、パブリッククラウドのみを対象にして、クラウド普及の日本のマクロ経済に与える影響を分析する。

1.2 先行研究

クラウドの普及がもたらすマクロ経済への影響については、Etro (2009)が、欧州27ヶ国を対象に動学的確率的一般均衡(Dynamic Stochastic General Equilibrium: DSGE)を用いたシミュレーションにより定量的に試算している。

このDSGEは、ミクロ経済学から導かれる関係式を連立させたモデルにおいて、一つの定常状態がショック(摂動)を受けてその定常状態に戻ったりあるいは新しい定常状態に移行したりする際に、時間発展とともにマクロ変数がどのように相互に作用し変化するかを把握できる点で優れており、主要な中央銀行や国際機関等において主に金融・財政の分野でその利用が拡大している。

Etro (2009)は、内生的市場構造を仮定し、DSGEをICT分野に適用した。具体的には、①クラウドの普及に伴い、ICTを利用する全セクターの生産及び参入の固定費が減少すること、また、その一部が変動費に変わることで、②新規参入費用低下に伴い企業の新規参入が促されること、③市場競争が促進されマークアップ率が減少すること、④クラウドは、単なる技術革新(コブダグラス生産関数の全要素生産性の向上を想定)でなく、ICT資本のゆるやかな蓄積に伴うGPT (General Purpose Technology)として作用すること等を仮定

した。

1.3 本論文の範囲と目的

本論文では、我が国におけるこうしたクラウドの普及がもたらすマクロ経済への影響を試算し、普及推進政策の基礎となるデータを提供することを目的としたい。この際、クラウド普及効果の GDP 成長率への寄与度を正確に試算することよりはむしろ、クラウド普及が進む系において日本のマクロ経済が安定に成長する現実的な経路が存在することを確認したり、その際の各種マクロ変数の相互の振る舞いを把握したい。

この目的を達成するため、(1) 内生的市場構造を仮定して ICT 資本を考慮したモデルを構築し、(2) クラウド財のみが存在する系において、そのモデルを用いたシミュレーションを行い、(3) その系の日本経済の中での位置づけから、クラウドの普及が日本のマクロ経済に与える影響を試算した。(4) また、シミュレーションのパラメータを推計したり、クラウド財のみが存在する系と日本経済との関係を推計したりする際には、日本の公開されている統計値と 2014 年 3 月に日本のビジネスマンを対象に実施したインターネット調査の結果を用いた。

なお、クラウド普及の GDP や生産性への寄与を推計することが唯一の目的であれば、従来の生産関数アプローチを用いることも可能と考えられる。しかし、DSGE を用いると、GDP や生産性以外に家計、労働市場等に与える影響もあわせて分析できるという利点がある。さらに、DSGE を用いた研究は金融財政政策が中心で、ICT 等のそれ以外の分野に用いた研究は少なく、また内容的に限定されている。

本論文の構成は次のとおりである。第 2 節では、モデルを構築し、日本の ICT 市場に合わせて調整したパラメータを用いてシミュレーションを行う。より具体的には、2.1 ではモデルについて解説し、2.2 でキャリブレーション(パラメータ値の設定)を行い、2.3 でシミュレーションの前提と結果について説明する。最後の第 3 節において、まとめと考察を述べる。

2 モデルとシミュレーション結果

2.1 モデル

クラウド財のみが存在する系を想定し、内生的市場構造のもとで DSGE シミュレーションのためのモデルを構築した。内生的市場構造を仮定したモデルは、Etro (2009)、Colciago and Etro (2010)、Bilbiie・Ghironi・Melitz (2012)等いくつかの論文において用いられている。Etro (2009)はクラウドを対象としているが、その他の論文は市場一般を対象としている。こうした論文のモデルにおいていくつかの式は同一であるが、系が複数の式の連立方程式により記述されるため、一部の式が一致しても同じ系を規定しているとは限らない。

本論文では、ICT 資本を想定し、投資の粘着性の効果を反映させ、より自然な ICT 資本の蓄積がなされるよう調整コスト関数(investment adjustment cost function)を導入した。この系において、需要サイドでは、多くの市場参加者はクラウドサービスの消費しか行わず ICT のハードウェアを所有する必要はないが、供給サイドでは、クラウドサービスを提供するためにデータセンター等の設備を設ける必要があり、こうした点を踏まえ、本論文では ICT 資本をモデルに組み入れている。モデルの詳細は次のとおりである。

2.1.1 家計

代表的家計は、 t 期において、賃金率 w_t で時間 L_t の労働を提供するとともに、消費 C_t を行うとすると、その効用 $U(C_t, L_t)$ は、期待生涯効用関数として相対的危機回避度一定型(CRRA: Constant Relative Risk

Aversion)を仮定して、 $U(C_t, L_t) = E_0 \left[\sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left\{ \ln(C_t) - \chi \frac{L_t^{1+\frac{1}{\phi}}}{1+\frac{1}{\phi}} \right\} \right]$ とおける。ここで、 $E_0[\cdot]$ は $t=0$ に

おける期待値、 β ($0 < \beta < 1$) は割引因子、 χ (> 0) は Frisch の労働供給の賃金弾力性、 ϕ (≥ 0) は Frisch の異時点間の労働供給の弾力性である。

家計の t 期における予算制約式は、総支出(消費、既存企業による投資 IK_t 、新規参入企業による投資 $v_t ne_t$) が総収入と等しくなることから、 $C_t + IK_t + v_t ne_t = \pi_t n_{t-1} + r_t K_t + w_t L_t$ 。ここで、 v_t は市場参入費用、 ne_t は新規参入企業数、 π_t は代表的企業の利潤、 n_t は企業数、 r_t は金利(資本のレンタル料)、 w_t は賃金率である。

この予算制約式のもとで代表的家計の効用 $U(C_t, L_t)$ の最大化を行うと、後で出てくる企業数の推移式(4)と資本の推移式(7)を用いて、次の式が得られる。

$$v_{t-1} = \beta(1 - \delta)E_t \left[\frac{C_{t-1}}{C_t} (v_t + \pi_t) \right] \quad (1)$$

$$L_t = \left(\frac{w_t}{\chi C_t} \right)^\varphi \quad (2)$$

$$\beta(1 - \delta^k)g_t + \beta \frac{r_t}{c_t} = g_{t-1} \quad (3)$$

ここで、 δ は既存企業と新規参入企業の市場退出確率、 δ_k は資本減耗率、 f_t 、 g_t はラグランジアン

$$\mathcal{L} = \sum_{t=0}^{\infty} \beta^t \left[\ln(C_t) - \chi \frac{L_t^{1+\frac{1}{\varphi}}}{1+\frac{1}{\varphi}} - f_t(C_t + IK_t + ne_t v_t - \pi_t n_t - r_t K_t - w_t L_t) - g_t \{ K_{t+1} - (1 - \delta^k)K_t - IK_t \} \right].$$

において設定するラグランジュ乗数のうちの一つである。

2.1.2 企業と需給均衡条件(マーケットクリアリング)

単一のセクターから構成される系において、企業は一定のバラエティ ω を持つクラウドサービスという財を生産しており、その財は資本と労働により生産されるとする。 t 期において、 n_t の数の企業が存在し、 ne_t の数の新規参入企業があり、 $t+1$ 期までに既存企業と新規参入企業は市場退出確率 δ で市場を退出すると仮定すると、次の式が得られる。

$$n_{t+1} = (1 - \delta)(n_t + ne_t) \quad (4)$$

需給均衡条件(マーケットクリアリング)を考える際、付加価値量 Y_t と労働時間 L_t について、既存企業によるものと新規参入企業によるものに分けて考える。既存企業による付加価値量と労働時間をそれぞれ YC_t と LC_t とすると、次の式を得る。

$$Y_t = YC_t + ne_t v_t \quad (5)$$

$$L_t = LC_t + ne_t \frac{v_t}{w_t} \quad (6)$$

ICT 資本 K_t が蓄積されることによりクラウドサービスの提供がなされ、既存企業による ICT 投資 IK_t により ICT 資本が蓄積されていくとすると、資本減耗率 δ_k を用いて、資本の推移式(7)式を得る。

$$K_{t+1} = (1 - \delta^k)K_t + IK_t \quad (7)$$

また、需給均衡条件(マーケットクリアリング)を考えて、次の式を得る。

$$YC_t = C_t + IK_t \quad (8)$$

企業 j ($j=1, 2, \dots, n_t$) の t 期における生産関数は、一次同時のコブダグラス生産関数を仮定すると、 $yc_{j,t} = A(lc_{j,t})^\alpha (k_{j,t})^{1-\alpha}$ とおける。ここで、 $yc_{j,t}$ は企業 j の付加価値量、 $lc_{j,t}$ は企業 j の労働時間、 $k_{j,t}$ は企業 j の資本量、 A は全要素生産性(定数を仮定)、 α は労働分配率。この式の両辺に n_t をかけて、企業 j は企業 $1 \sim n_t$ に対して対称であり、 $YC_t = yc_{j,t} n_t$ 、 $LC_t = lc_{j,t} n_t$ 、 $K_t = k_{j,t} n_t$ の関係があることを用いると、次の式が得られる。

$$YC_t = A \cdot (LC_t)^\alpha \cdot (K_t)^{1-\alpha} \quad (9)$$

ここで、全要素生産性 A について定数を仮定していることから、クラウド普及による付加価値量押し上げ効果を TFP によるものとしてでなく、GPT (General Purpose Technology) によるものとして扱っていることになる。

この条件のもとで、 t 期に生産を行う企業の費用 $r_t K_t + w_t LC_t$ の最小化を行うと、次の式が得られる。ここで μ_t はマークアップ率であり、限界費用を mc_t とすると $\mu_t = \frac{1}{mc_t} p$ が成立している。

$$w_t = \alpha \cdot \frac{YC_t}{LC_t} \cdot \frac{1}{\mu_t} \quad (10)$$

$$r_t = (1 - \alpha) \cdot \frac{YC_t}{K_t} \cdot \frac{1}{\mu_t} \quad (11)$$

独占や完全自由競争(定常状態において代表的企業の利潤と市場参入費用がゼロとなってしまう)といった極端な市場でなく、内生的に企業数や市場構造が決定され、個々の企業が他社の生産量を所与として自社の生産量を決定するクルノー競争を仮定する。バラエティ ω を持つクラウドサービスどうしの代替弾力性を θ とすると、マークアップ率は $\mu_t = \frac{\theta}{\theta-1} \cdot \frac{n_t}{n_t-1}$ と書けることから、 $\theta \rightarrow \infty$ とすることにより(バラエティ ω が失われクラウドを単一財として扱うことに相当)、次の式を得る。

$$\mu_t = \frac{n_t}{n_t - 1} \quad (12)$$

クルノー均衡において、企業 j の利潤を $\pi_{j,t}$ とすると、 $\pi_{j,t} = \left(1 - \frac{1}{\mu_t}\right) \frac{yc_{j,t}}{n_t}$ となるが、企業 j は企業 $1 \sim n_t$ に対して対称であることと、 $\mu_t = \frac{n_t}{n_t-1}$ 、 $YC_t = yc_{j,t} n_t$ の関係を用いると、次の式を得る。

$$\pi_t = \frac{YC_t}{n_t^2} \quad (13)$$

市場参入費用 v_t は、クラウドの普及が進むにつれて逓減するはずなため、市場参入費用の定常状態値を v_0 、その収束速度を規定する定数を ρ として、次の式が成立すると仮定する。なお、今回のシミュレーションにおいては、ショックを市場参入費用に与えるため、ショック項 e_t を加えている。

$$v_t = \rho \cdot v_0 + (1 - \rho)v_{t-1} + e_t \quad (14)$$

2.1.3 モデルのまとめ

以上により、内生変数は、付加価値量 Y_t 、消費 C_t 、労働時間 L_t 、ICT 資本 K_t 、ICT 投資 IK_t 、既存企業の付加価値量 YC_t 、既存企業の労働時間 LC_t 、賃金率 w_t 、金利 r_t 、企業数 n_t 、新規参入企業数 ne_t 、代表的企業の利潤 π_t 、マークアップ率 μ_t 、市場参入費用 v_t の 14 個であり、(1)~(14)の 14 の方程式が対応する。

2.2 キャリブレーション

DSGE のシミュレーションを行うにあたり、表 1 のとおり、キャリブレーション(パラメータ値の設定)を行った。

時間の単位は、四半期とした。労働分配率 α については、総務省・経済産業省「平成 28 年度情報通信業基本調査」における平成 27 年度の情報通信業の労働分配率の値である 0.371 とした。割引因子 β については、新発 10 年国債の月末終値の推移を踏まえ、金利年 1% とし、四半期換算で 0.998 とした。全要素生産性 A

については、規格化して1とした。単位時間における企業の市場退出確率 δ については、経済産業省「中小企業白書」の2016年度版の廃業率が年3.5%(四半期換算で0.875%)であるため、0.00875とした。資本減耗率 δ^k については、Eden et al. (2015)のICT財の減価償却率(米国商務省の経済分析局 Bureau of Economic Analysis のデータに基づき導出)のグラフから読み取れる0.22を四半期換算した0.055とした。市場参入費用の定常状態値 v_0 については、規格化して1とした。シミュレーションにあたり、ショックが与えられてから5年(20四半期)で市場参入費用の値が定常状態値(0.95)に戻ることを想定した。従って、市場参入費用の収束速度を規定する定数 ρ については0.180とした。Frisch 労働供給の賃金弾力性 χ については、労働時間 L の定常状態値 L_0 を規格化する(1とする)値とした。従って、 χ はシミュレーションにより値が異なることになる。Frisch の異時点間の労働供給の弾力性 ϕ については、Kuroda et al. (2008)が0.7~1.0の範囲に収まるとする推計結果を出していることから、0.85に設定した。

表1 シミュレーションのためのパラメータ値の設定

パラメータ	値
労働分配率 α	0.371
割引因子(四半期単位) β	0.998
全要素生産性 A	1
単位時間における企業の市場退出確率(四半期単位) δ	0.00875
資本減耗率(四半期単位) δ^k	0.055
定常状態での新規参入費用 v_0	1
市場参入費用の収束速度を規定する定数 ρ	0.180
Frisch の労働供給の賃金弾力性 χ	0.939*
Frisch の異時点間の労働供給の弾力性 ϕ	0.85

※労働時間 L の定常状態での値 L_0 を規格化する(1とする)値としているため、シミュレーションごとに異なる値となる。

2.3 シミュレーションの前提と結果

2.3.1 シミュレーションの前提

今回のシミュレーションにおいては、クラウドの普及が進む効果を市場参入費用が減少していく形でモデルに取り込もうとしているが、クラウド普及と市場参入費用の関係についての実証的な数値が必ずしも明らかでないため、クラウド普及に伴うマクロ経済効果を固めに試算する観点から、クラウドの普及が十分になされたとき、市場参入費用は5%減少していると仮定した。

2.3.2 シミュレーション結果

図1はシミュレーション結果を示している。

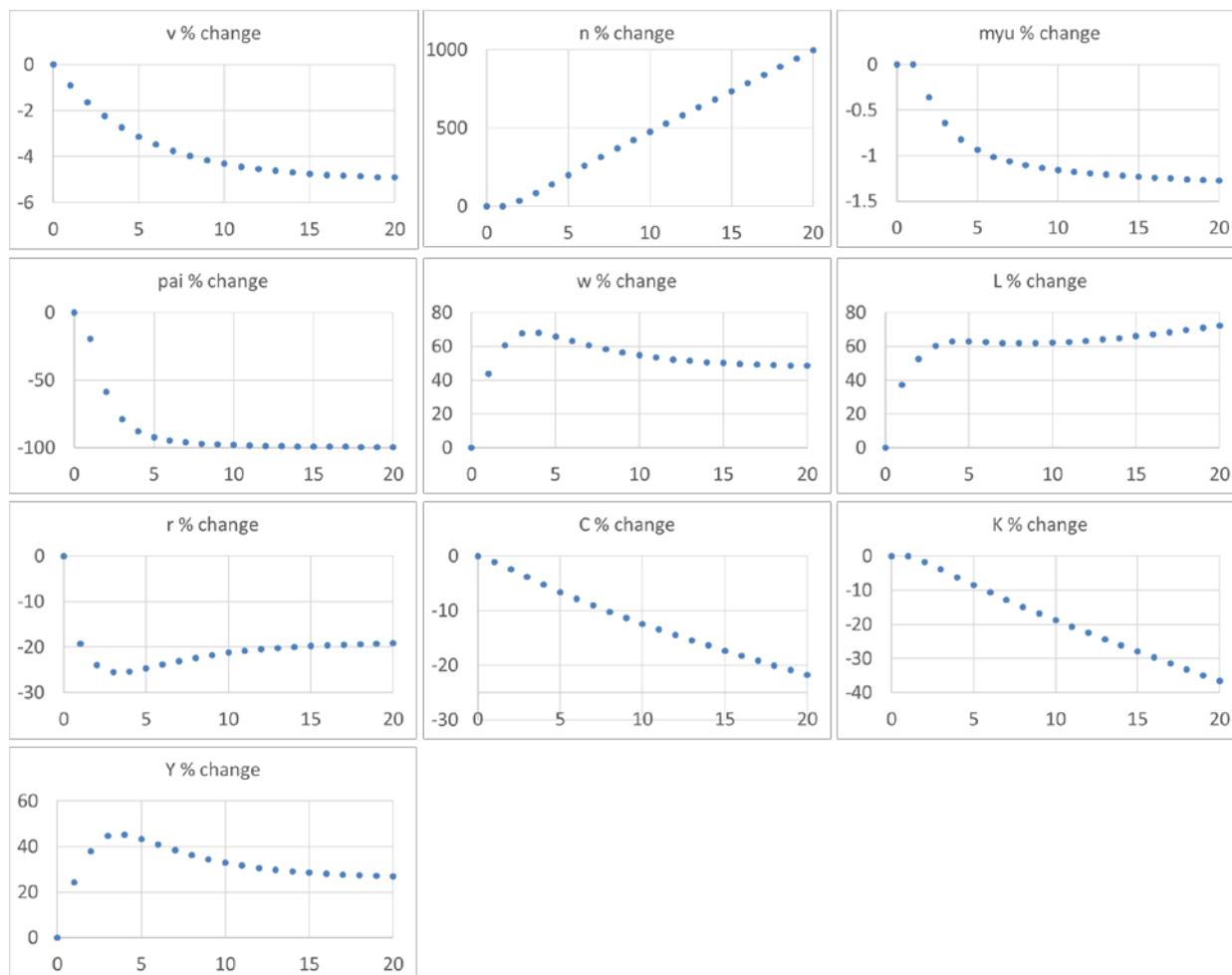
市場参入費用 v_t は、5年でその定常状態値 v_0 に向けて5%逓減する。企業数 n_t は、市場参入費用 v_t が減少減少を始めると徐々に増加する。企業数 n_t の増加に伴い、マークアップ率 μ_t は1に向けて減少し、代表的企業の利潤 π_t も減少する。代表的企業の利潤 π_t と企業数 n_t と新規参入企業数 ne_t が決まることから、付加価値量 Y_t と労働時間 L_t が決定する。クラウド普及が進むにつれて、付加価値量 Y_t のみならず、労働時間 L_t も増加する。この点は注目すべきと考える。

今回のシミュレーション結果から、クラウド財のみが存在する系において、26.9%の付加価値量 Y_t の押し上げ効果があったことになる。

次に、日本のマクロ経済、情報通信等に関する政府統計値等を用いて、いくつかの仮定を置いた上で、上記クラウド財のみが存在する系の日本経済の中での占める割合から、クラウドの普及が日本のマクロ経済に与える影響を試算した。具体的には、日本経済全体を、(1) 建設業、(2) 製造業、(3) 運輸業・郵便業、(4) 卸売・小売業、(5) 金融・保険業、(6) サービス業・その他と大きく6つの産業区分に分けて、それぞれの産業

区分について、クラウドを利用している企業(グループ A)の割合、クラウドを利用していないが今後利用する可能性のある企業(グループ B)の割合、クラウドを利用しておらず利用予定もない企業(グループ C)の割合を整理した上で、各産業区分ごとのクラウドが普及する余地を保守的に推計し、クラウド財のみが存在する系の日本経済の中での占める割合を試算した。この結果、0.24%の GDP 押し上げ効果が見込まれるとの結果を得た。

図 1 シミュレーション結果



3 まとめと考察

クラウドコンピューティングの利用の拡大が日本のマクロ経済に与える効果を分析し、DSGEに基づくモデルによるシミュレーションによりその効果を試算した。その効果は、クラウド財のみが存在する系において、GDP と労働時間に対して正のインパクトがあり、0.24%の GDP 押し上げ効果がある、との試算結果が得られた。

DSGE シミュレーションの結果を日本経済に当てはめる過程において、いくつかの大きな仮定を置いていることから、これらの試算結果をそのまま何らかの政策立案に利用できるわけではないと考えられるが、ICT 投資とその粘着性を考慮した上で試算を行ったこと、シミュレーションを通して内生的市場構造において種々のマクロ経済変数が相互に関係し変化する様子を説明することが出来た。

今後の課題としては、企業におけるクラウド利用についてより実証的な調査を行い、シミュレーションやシミュレーション結果と日本経済の関係の分析に反映させ、より精度の高い試算とすること等、多くの課題がある。さらに、インターネット調査結果は、企業がパブリッククラウドを導入する代わりにプライベートクラウドを選択している背景には、データセキュリティ、プライバシー等のいくつかの懸念が存在すること

を示唆している。プライベートクラウドからパブリッククラウドへの移行を促すような施策を検討したり、クラウドのさらなる普及における政府の役割を検討したりすることも、意義ある課題と思われる。

【参考文献】

- Bilbiie, Florin O., Fabio Ghironi, Marc J. Melitz, Endogenous Entry, Product Variety, and Business Cycles, *Journal of Political Economy* 120, 2 (2012) 304-345
- Bresnahan, Timothy, Manuel Trajtenberg, General Purpose Technologies: 'Engines of Growth.' *Journal of Econometrics*, 65 (1995) 83-108
- Christiano, Lawrence J., Mathias Trabandt, Karl Walentin, DSGE Models for Monetary Policy Analysis, National Bureau of Economics Research Working Paper No. 16074 (2010)
- Colciago, Andrea, Federico Etro, Real business cycles with Cournot competition and endogenous entry, *Journal of Macroeconomics* 32 (2010) 1101-1117
- (The) Economist, Cloud chronicles - How open-source software and cloud computing have set up the IT industry for a once-in-a-generation battle, Aug 27th, 2016
- Eden, Maya and Gaggi, Paul, On the Welfare Implications of Automation, 2015, World Bank Policy Research Working Paper 7487
- Etro, Federico, The Economic Impact of Cloud Computing on Business Creation, Employment and Output in Europe, An application of the Endogenous Market Structures Approach to a GPT innovation, *Review of Business and Economics* 54, 2 (2009) 179-208
- Etro, Federico, Andrea Colciago, Endogenous Market Structures and the Business Cycle, *The Economic Journal*, 120 (2010) 1201-33
- Helpman, Elhanan, General Purpose Technologies and Economic Growth, The MIT Press (1998)
- IDC Japan, Press release dated August 12, 2016 on domestic IT and ICT market forecast (in Japanese)
- IDC Japan, Press release dated August 24, 2016 on domestic public cloud service market forecast (in Japanese)
- IDC Japan, Press release dated September 9, 2015 on domestic private cloud computing market forecast (in Japanese)
- Kuroda, Sachiko, Yamamoto, Isamu, Estimating Frisch labor supply elasticity in Japan, *Journal of The Japanese and International Economies*, 22(2008) 566-585
- MIC Research Institute (LTD), Press release dated August 31, 2016 on IT service market forecast (in Japanese)
- Ministry of Economy, Trade and Industry, 2016 White Paper on Small and Medium Enterprises in Japan
- Ministry of Internal Affairs and Communications, 2015 Communications Usage Trend Survey (in Japanese)
- Ministry of Internal Affairs and Communications, Research Report on Economic Analysis on ICT in FY2015 (in Japanese)
- Ministry of Internal Affairs and Communications, Ministry of Economy, Trade and Industry, 2014 Economic Census for Business Activity
- Ministry of Internal Affairs and Communications, Ministry of Economy, Trade and Industry, 2016 Basic Survey on the Information and Communications Industry
- MM Research Institute, Press release dated December 13, 2016 on domestic cloud computing market forecast (in Japanese)
- National Institute of Standards and Technology (NIST), The NIST Definition of Cloud Computing

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
Advancement of Cloud Computing Use and its Impact on Macroeconomics in Japan	International Telecommunications Society 2016, 21th Biennial Conference, Taiwan	2016年6月
Advancement of Cloud Computing Use and its Impact on Macroeconomics in Japan	TPRC44 Graduate Student Consortium, at George Mason University School of Law, Arlington, VA, U.S.A	2016年9月
Cloud Computing Diffusion and its Impact on Macroeconomics in Japan—its Monopolistic/Oligopolistic Market Characteristics and Social Welfare	TPRC44, at George Mason University School of Law, Arlington, VA, U.S.A.	2016年10月
Advancement of Cloud Computing Use and its Impact on Macroeconomics in Japan	日本経済学会 (於立命館大学草津キャンパス)	2017年6月
Cloud Computing Diffusion and its Impact on Macroeconomics in Japan—its Monopolistic/Oligopolistic Market Characteristics and Social Welfare	International Telecommunications Society 2017, 14th Asia-Pacific Conference, Kyoto, Japan	2017年6月