

Discussion Paper #00-DOJ-100

NC工作機械の技術普及：旧技術による補完的效果

原 田 勉

神戸大学大学院経営学研究科助教授

米 川 進

前通商産業省通商産業研究所主任研究官

2000年3月

要旨

本稿の目的は、日本の資本財産業、特に、機械関連産業における NC 工作機械の技術普及を分析対象とし、それがどのような要因によって規定されてきたのかについて実証的に明らかにすることにある。日本の機械関連産業における NC 工作機械の技術普及では、比較的規模の小さい末端の機械加工業者にまで先端的な NC 機が導入されている点に特徴がある。それを可能にした背景として、NC 装置の高品質・低価格化が重要な役割を果たしていたのは疑いの余地はない。しかしながら、その一方で、NC 工作機械の採用者側における技術吸収能力の高さも無視できない要因であると思われる。本稿の基本的な主張は、NC 化以前の旧技術における学習、知識の蓄積が新技術の採用を促進する要因であったというものである。つまり、旧技術における技術的能力が新技術採用を阻害するのではなくそれを促進する機能を果たす。換言すると、この技術的能力を媒介として新・旧技術間にはある種の補完性が存在しており、それが技術普及に決定的に重要な役割を果たしていたというのが本稿の基本的な仮説である。

本稿では、1987 年、1994 年に各々、実施された「工作機械設備等統計調査」「特定機械設備統計調査」で収集されたデータを使用し、このような仮説について定量的に検討していく。さらに、本稿の発見事実の解釈及びそこから得られる産業政策上のインプリケーション等についても議論する。

はじめに

イノベーション・プロセスにおいて、資本財部門の果たす役割はきわめて重要なものである。そもそも最終消費財におけるイノベーションが可能になるためには、それに適した資本財が適宜、提供される必要がある。この資本財ないしは資本財産業における技術的水準が一国のイノベーション能力を規定する主要な要因の一つであるといっても過言ではないだろう。実際、戦後日本の高い経済成長を支えた技術的要因として資本財部門での素早い先端技術の導入・消化を指摘することができる。特に、マザーマシンとして製造業における生産技術水準に大きな影響を与える NC 工作機械の迅速な普及は決定的に重要であった。この NC 工作機械の普及により加工精度・能率が飛躍的に向上し、その製造物たる機械、そして最終的には最終消費財の精度・コストパフォーマンスが上昇していったのである。

このように資本財部門での技術的变化（技術普及）はイノベーション・プロセスのなかで鍵となる役割を果たしている。したがって、この資本財部門における技術的变化がどのような経済的・組織的要因によって規定されているのかを理解することは技術政策・産業政策上、きわめて有益なことだと思われる。しかしながら、日本の資本財部門における技術普及を体系的・定量的に分析した研究は、われわれの知る限り、存在していない。本稿の目的は、日本の資本財産業、特に、機械関連産業における NC 工作機械の技術普及を分析対象とし、それがどのような要因によって規定されてきたのかについて実証的に明らかにすることにある。

技術普及とは技術革新の成果が社会的に活用されていく一連のプロセスとして捉えることができる。この技術普及段階における優位性こそが最終的な比較優位性・競争優位性へと直結するため、さまざまなイノベーション・プロセスのなかでも決定的に重要な部分である。このような重要性を反映して、過去、技術普及を研究対象とした多くの研究が蓄積されてきた。これらの研究の大部分では、技術普及を規定する要因として規模の果たす役割に多くの関心が払われてきた。すなわち、新技術採用主体における規模の経済性がその意思決定で大きな比重を占めることになるのである。したがって、潜在的採用者の規模分布が新技術の普及には重要な役割を果たすことになる。規模の大きな潜在的採用者が多く分布していれば、そこでは迅速な技術普及が見られることになる。その意味で、先行研究の多くは、シュンペーター的企業が重視されることになる。

しかしながら、日本の機械関連産業における NC 工作機械の技術普及では、比較的規模の小さい末端の機械加工業者にまで先端的な NC 機が導入されている点に特徴があるように思われる。むしろ、日本の資本財産業では、小規模企業が多く存在しているにもかかわらず、それらの企業が積極的に NC 工作機械を導入していった点にその比較優位性を見出すことができるのではないだろうか。もちろん、その背後には、NC 装置の高品質・低価格化が重要な役割を果たしていたのは疑いの余地はない。しかしながら、その一方で、

NC 工作機械の採用者側でも、規模以外の変数が大きく影響しているように推測されるのである。本稿の基本的な主張は、規模ではなく、旧技術における学習、知識の蓄積が新技術の採用を促進する要因であったというものである。つまり、旧技術における技術的能力が新技術採用を阻害するのではなくそれを促進する機能を果たす。換言すると、この技術的能力を媒介として新・旧技術間にはある種の補完性が存在しており、それが技術普及に決定的に重要な役割を果たしていたというのが本稿の基本的な仮説である。

本稿では、1987年、1994年に各々、実施された「工作機械設備等統計調査」「特定機械設備統計調査」で収集されたデータを使用し、このような仮説について定量的に検討していきたい。これらの調査は、毎回、数にして約1万程度の事業者を対象にその機械設備等について詳細なデータを収集しており、現存する関連調査のなかでは最も体系的なものと言うことができる。本稿では、これらのデータを活用し、各事業所レベルでNC工作機械の採用を規定する要因について分析し、上記、仮説について検討する。まず、次節では、技術普及を規定する要因に関し考察し、本稿でテストすべき仮説及び実証モデルについて詳述する。第3節では、本稿で使用するデータ、変数等について記述し、NC工作機械に関する技術的・制度的背景の概略を説明する。第4節では、実証分析結果を報告し、第5節では、本稿の発見事実の解釈及びそこから得られる産業政策上のインプリケーション等について議論する。

1. 技術普及の規定要因

新たな技術が生み出され、それが社会に普及していく過程はさまざまな要因によって影響を受ける。このような要因を検討するに際して、技術普及に関する先行研究の多くでは、新技術の潜在的採用者は、各々、異なった特性を有しており、結果として、新技術採用による期待収益も異なっているという仮定が置かれている¹。そして、異なった期待収益のなかでも新技術採用に要するコストを上回る期待収益が達成される潜在的採用者のみが実際に採用の意思決定を下すことになる。この仮定の下では、技術普及を規定する要因とは、新技術による期待収益に影響を与える変数に他ならない。

このような期待収益に影響を与える変数として、本稿では特に、規模、旧技術に関する要因の2つを取り上げそれらの影響について検討していきたい。前者の規模による影響に関しては先行研究で最も大きく取り上げられてきたものであり、当然ながら、本稿でもこの変数に着目すべきである。そして、それに加え、本稿では旧技術による影響についても同時に検討していきたい。この変数については必ずしも先行研究で十分に取り上げられてきた訳ではないが、上述のように、技術普及を規定するきわめて重要な変数だと考えられる。本稿の主たる関心は、この旧技術による影響にある。

¹ 技術普及に関する先行研究の主要なレビューとしては、David (1986)、Stoneman (1986)がある。

以下では、規模、旧技術に関する変数が技術普及に与える影響について考察し、先行研究で取り上げられてきた他の諸変数についても検討する。そして、その上で、本稿で用いる実証モデルを提示することにしよう。

規模による影響

まず、先行研究で最も重視されてきた潜在的採用者の規模による影響について議論しておこう。これらの研究で主張されている命題とは、潜在的採用者の規模が大きければ、新技術が採用される可能性が高くなるというものである。この規模による具体的な影響には主として次の3つのものが考えられる。第一に、新技術の評価・設置・保全を担当する技術者の存在である。このような人材は、大規模組織である程、より多く雇用されている可能性が高い。第二に、新技術採用により、その購入（導入）費用の他に固定費も新たに発生することになる。これらの費用が回収可能になるためには、ある程度以上の操業水準が維持されていなければならない。したがって、大規模組織の方が新技術採用から生じる固定費を負担し、規模の経済性を発揮できる可能性が高くなるのである。第三に、大規模組織の市場支配力は小規模組織と比較して大きくなる傾向が強い。市場支配力が大きければ、市場から得られるレントが高くなり、結果として、新技術採用に要する諸費用の負担が軽減されることになる。市場支配力の強い組織は、新技術採用が比較的容易である可能性が高くなるのである。

このように、新技術採用に際し、新たに発生すると思われる諸費用の負担額が大きければ大規模組織の方が有利な立場にあり、そのような組織における新技術採用が数多く見られるものと推測されるのである。

旧技術による影響：技術吸収能力の補完的効果

このような規模による影響に加え、新・旧技術自体に関する要因も技術普及に重要な役割を果たしているものと考えられる。まず、新技術の技術的パフォーマンスやそこから期待される経済的便益に関する情報が不確実である場合、その技術の採用はその不確実性の程度に大きく依存することになる。その不確実性が取り除かれ、新技術採用から得られる経済的便益が明らかになるにしたがい、それを採用する主体は多くなっていく。技術普及に関する初期の研究の多くは、この不確実性によって普及の程度が規定される疫病モデル（epidemic model）に依拠したものが多く²。ただし、本稿で分析対象とする NC 工作機械の場合、後述するようにそれらが開発されてから相当期間の時期が経過しており、この種の不確実性が採用意思決定に大きな影響を与えているものとは考えられない。したがって、以下での実証分析ではこのような不確実性の影響については考慮していない。

本稿における関心から重要だと思われるのは、新技術そのものの影響というよりもそれ

² このアプローチを精緻化した代表的なものとしては、Mansfield（1968）がある。

と旧技術との関連性にある。ここに旧技術とは、新技術によって代替される技術のことを指す。この旧技術による影響には主に2つのものが考えられる。第一に、旧技術自体の技術的改善ないしはそのスピードである。このような技術的改善・改良が顕著である場合、新技術との技術格差は縮小され、新技術採用の相対的優位性が減少することになる。その結果、新技術の普及はスローダウンすることになる。この種の旧技術による影響は、新技術の採用時期を遅らせるものであり、先行研究のなかにもこの影響について指摘したものが見受けられる³。

しかしながら、旧技術による影響はこのようなネガティブなものばかりとは限らない。むしろ、このような技術格差縮小という影響の一方で、旧技術における経験・学習が新技術採用にポジティブな作用を及ぼす場合も考えられる。この場合、旧技術における経験が新技術採用・活用に必要とされる技術的能力を付与することになる。このような技術的能力は、吸収能力 (absorptive capacity) と呼ばれている。Cohen & Levinthal (1990) によると、企業による研究開発活動のかなりの部分はこの技術吸収能力への投資ということになる。外部で生じた技術革新の成果を享受するためには、それに相応した技術的能力、すなわち、技術吸収能力が必要であり、このような能力を獲得するためにはそれなりの投資が求められるのである。

この技術吸収能力は、研究開発投資で獲得されるばかりでなく、日常における行為・作業によっても蓄積されていく。すなわち、現場での作業学習 (learning by doing) ないしは使用学習 (learning by using) である。そして、このような学習の場として、旧技術における経験はきわめて重要なものと考えられるのである。旧技術を使用した日常業務を遂行していくなかで、これらの学習を通じた技術吸収能力が蓄積されていく。その結果、旧技術を代替する新技術においてもその評価・活用・保全などに必要とされるかなりの部分の技術的知識・ノウハウが新技術採用前に獲得されていることになる。この意味で、旧技術における経験は、新技術採用の意思決定に対して補完的効果を及ぼしているものと捉えることができるだろう。

本稿では、この技術的吸収能力ないしは利用技術の補完的効果について上記規模による影響とともに検討していくことにする。われわれの基本的な仮説は、この補完的効果が規模による影響よりも強く見られるというものである。というのも、上述のように日本の機械関連産業における迅速な技術普及・吸収プロセスは、大規模企業・組織に集中しているのではなく、むしろ、末端の小規模企業・組織に多く浸透しているものと思われるからである。このような推測が正しいものとするれば、規模による影響は限定的なものにすぎない。そして、それに代わり得る変数としては、旧技術による補完的効果がより重要な役割を果たしているものと考えられるのである。もちろん、他の要因も考えられなくはない。しかしながら、多くの機械供給業者に共通する特性としては、この旧技術における経験が重要

³ たとえば、Rosenberg (1976), ch.11 を参照せよ。

なものとして指摘できるのである。

他の規定要因

それでは、新技術の普及に影響を及ぼす他の要因にはどのようなものがあるのだろうか。上記の変数以外のものでも先行研究で大きく取り上げられてきたものは主として潜在的採用者間での戦略的依存関係に起因するものである。その代表的なものが、技術採用の先取ゲーム (preemption game) であろう⁴。この先取りゲームとは、潜在的採用者間での新技術採用のタイミングをめぐる競争に関するゲームであり、他のプレーヤーが自分よりも早く新技術を採用すると、自らのペイオフは減少することになる。その結果、新技術採用のタイミングは、1 プレーヤーしか存在しない独占の場合における最適採用時期よりも早くなる。つまり、新技術採用タイミングに関する戦略的依存関係が存在する場合、競争により技術普及は促進されることになるのである。

この他にも、新技術を採用した場合、採用者間に何らかのネットワーク外部性が存在する場合、将来の技術普及率に関する期待、現段階での採用率などが潜在的採用者の意思決定に大きな影響を及ぼすことになる⁵。このような場合、技術採用パターンに関して複数均衡が存在することになり、その均衡選択に関しては期待や歴史が大きな意味をもつことになる。その結果、新技術が旧技術よりもはるかに技術的パフォーマンスに優れていたとしてもそれが採用されないという結果も生じ得ることになる。

これらの戦略的依存関係に起因する要因は、主に理論的研究で取り上げられてきたものであり、それらを実証的にテストした研究はほとんど存在していないように思われる。というのも、戦略的依存関係そのものをテストするための理想的状況と現実との乖離があまりに激しく、それを厳密に実証するのに必要なデータの入手が困難である場合が多いからである。本稿においてもこれらの戦略的依存関係をテストするためのデータは利用可能ではなく、しかも、ここで対象とする大規模サンプルではこのような戦略的依存関係を直接、分析対象とすることは適切であるとは思われない。ネットワーク外部性の実証に関しては、むしろ大規模サンプルの方が望ましいが、本稿で対象とする NC 工作機械の普及の際、このような外部性が明示的に存在しているものとは考えられない。したがって、以下では、これらの変数による影響については考慮せず、上記 2 変数に関する影響を直接、検討していくことにしよう。

実証モデル

次に、上記の変数による影響をテストするための実証モデルを導くことにしよう⁶。今、

⁴ たとえば、Fudenberg & Tirole (1985) を参照せよ。

⁵ この分野の代表的な研究としては、Farrell & Saloner (1986) がある。

⁶ 以下のモデルは、Davies (1979) に基づいている。

新技術採用に影響を及ぼす変数は S として表されるものとする。このとき、新技術採用への投資の回収期間がある臨界値よりも短くなれば、潜在的採用者は、その技術を採用することになる。潜在的採用者 i の時点 t における回収期間の期待値は次のように表現することができる。

$$(1) \quad ER_i(t) = q_1(t) S_i^d e_i^1$$

ここに、 $q_1(t) > 0$, $dq_1/dq_1 < 0$, $e_i^1 > 0$ である。 $q_1(t)$ は、期待値に影響を与える時間的要素であり、この要素が時間とともに減少していくという仮定は、上記の新技術に関する不確実性の削減や作業学習、使用学習などの効果を反映するものである。 e_i^1 は回収期間に影響を与える他の観察されない変数である。

一方、投資回収期間の臨界値、すなわち、臨界規模も同様に特定することができる。

$$(2) \quad \bar{R}_i(t) = q_2(t) S_i^g$$

ここに、 $q_2(t) > 0$, $dq_2/dq_2 < 0$, $e_i^2 > 0$ である。ここでは、時間の経過とともにしたがって、この臨界規模は上昇していくものと考えられる。というのも、上述のように時間の経過とともに新技術の存在に気付く主体が増えていき、その結果として、潜在的採用者間での競争圧力が上昇してくることになる。それにより、先取りゲームの帰結として新技術採用のタイミングは早くなっていくのである。このことは、臨界規模が減少していくことに他ならない。

これら (1)、(2) から潜在的採用者 i が時点 t において新技術を採用する確率は、次のように定式化することができる。

$$(3) \quad \Pr(ER_i(t) < \bar{R}_i(t)) = \Pr(1 < q(t) S_i^b e_i)$$

ここに、 $q = q_2/q_1$, $b = g - d$, $e_i = e_i^2/e_i^1$ である。ここで、 e_i が分布関数 $G(m)$ の対数正規分布に従っているものと仮定すると、潜在的採用者 i による新技術採用確率は、

$$(4) \quad \Pr(0 < a(t) + b S_i + m) = G(a(t) + b S_i)$$

として表すことができる。上記の議論及び仮定より、明らかに $a > 0$, $b > 0$ となる。特に、後者の不等式に本稿の主たる関心がある。この S は規模及び旧技術での経験に関する変数から構成されている。これらの変数は、新技術採用にポジティブな影響を与えるものと推測されるため、それらに対応する係数は、正の符号を取るものと考えられる。特に、われわれは規模以上に旧技術の補完的効果が大いというのが本稿の基本的な仮説である。この仮説は、後者の係数値が前者よりも大きく、その差は統計的にも有意であれば実証されたことになるのである。われわれは、(4)のモデルをプロビット回帰により推計していく

ことにする⁷。

2. データ

データ・セット

本稿で使用するデータは、われわれが指定統計の目的外利用申請を行い、許可のうえ提供を受けた通産省「工作機械設備等統計調査」(1987年)、「特定機械設備統計調査」(1994年)のデータ・セットである。これらの調査では、日本標準産業分類による鉄鋼業、非鉄金属製造業、金属製品製造業、一般機械器具製造業、電気機械器具製造業、輸送用機械器具製造業、精密機械器具製造業、武器製造業等に属する事業所を対象に機械設備の実態調査が行なわれている。この調査は、これらの業種に属する従業者数 50 人以上の事業所をすべて対象とした全数調査であり、日本の資本財産業の機械設備に関するきわめて体系的なデータ・セットを構成している。1987年に実施された「工作機械設備等統計調査」では 8,450 の事業所、1994年の「特定機械設備統計調査」では 12,388 の事業所に関するデータが収集されている。

このデータ・セットで利用可能な調査内容は、各事業所の所属産業(日本標準産業分類による)(法人単位の)資本金額、製造品出荷額、機械器具出荷額、常用従業者数、各種工作機械設置台数及び金額、他の有形固定資産額等である。これらのデータを使用して以下では実証分析を行なう。そこで次に、実証分析で具体的に用いる従属変数、説明変数に関して説明しておくことにする。

従属変数

本稿では、この調査で得られたさまざまなデータのなかでも在来型工作機械と NC 工作機械の設置状況に特に関心をもつ。なかでも、NC 工作機械を設置している事業所とそうでない事業所とを比較することにより上記の技術普及規定要因について定量的に評価していくことが以下の実証分析の主たる目的である。したがって、従属変数としては、各事業所を分析単位とし、次の 2 種類のものを取り上げることにする。

第一が、各事業所に NC 工作機械が導入されているのか否かを示すダミー変数である。これを従属変数とすることにより、NC 工作機械の採用に影響を与える要因を評価することができる。第二が、この従属変数をさらに細かく分類し、各種 NC 工作機械の採用状況を示したダミー変数である。後述するように、NC 工作機械にもさまざまな種類のものが存在するため、事業所全体で少なくとも一種以上 NC 工作機械が導入されているかどうかを検討するだけでなく、各種 NC 工作機械の普及状況についても分析する必要がある。

⁷ なお、われわれはプロビット回帰に加え、ロジスティック回帰分析も実施したが両者の間に相違は見られなかった。以下では、スペース上の制約からプロビット回帰分析の結果のみ報告することにする。

この従属変数を検討することにより、各種 NC 工作機械に特有の影響についても把握することができるのである。ただし、以下では、スペース上の制約から NC 工作機械のすべての機種について検討するのではなく、その代表的機種である NC 旋盤、マシニング・センタについてのみ分析することにする。他の機種に関しても同様の実証分析を行ったが、本稿の仮説に関する部分では結果に相違が見られなかったことだけここで付記しておく。

説明変数

前節で議論したように本稿では、NC 工作機械の普及に関して、潜在的採用者の規模、旧技術の影響という2つの観点から検討していく。したがって、説明変数にはこれらの影響を反映したものが加えられなければならない。

まず、規模に関しては、企業（法人）レベル、事業所レベルの2つの場合に分けて考える必要がある。本稿の分析単位は事業所であるが、その事業所が所属する企業レベルでの規模も当然ながら新技術採用に際して、大きく影響する。特に、上述の人材の豊富さ、市場支配力などは企業規模により関連しているものと考えられる。このデータ・セットには、残念ながら各事業所が所属する企業に関する情報は含まれていない。その唯一の例外が、企業の資本（出資）金額である。これは、各事業所が所属する企業自体の資本金額であり、当然ながら企業レベルでの規模を反映しているものと考えられる。

一方、事業所レベルの規模としては、多くのデータが利用可能である。まず、事業所における全製造品出荷額及び機械器具出荷額は事業所における操業レベルを示す変数として捉えることができる。同様に、常用従業者数に関しても、機械器具部門とそれ以外の部門とに分けてデータが収集されている。そこで、従業者数に関しては、この機械器具生産部門における従業者数及び事業所全体の従業者数の2つを変数として使用することにする。したがって、企業レベルでは「企業資本金」、事業所レベルでは「事業所出荷額」「機械部門出荷額」「機械部門従業者数」「事業所従業者数」を各々、規模変数として使用する。

旧技術の影響に関しては、在来型工作機械の設置数によって測定することができる。これらの設置数が多ければ、その在来型工作機械を使用する機会・経験が多いということの意味する。ただし、これらの変数は必ずしも十分なものではなく、旧技術による影響が実態よりも低く評価されることになるかも知れない。というのも、NC 工作機械を導入した事業所のなかには、それに対応する在来型工作機械を廃棄してしまう場合も考えられるからである。その結果、データの上では、在来型工作機械における経験が多くあるにもかかわらず、それが設置数の形で反映されていないという可能性もあるだろう。しかしながら、多くの場合、NC 工作機械を導入した時点ですぐに在来型工作機械を廃棄するような場合はあまりなく、少なくとも耐久期間が過ぎるまでは製造工程で部分的に使用し続ける傾向が強いように思われる。また、耐用年数の経過した在来型工作機械については NC 工作機械の導入如何にかかわらず、等しく廃棄するのが通常であろう。したがって、本稿の対象とする大規模サンプルでは、このような影響はかなりの程度、排除されているものと考え

られるのである。また、仮に、以下での実証分析結果が、在来型工作機械の強い影響を示していたとすれば、旧技術による実際の補完的効果はそこで推計されたもの以上に強いものと考えることができる。この場合、われわれの仮説はより強固のものと言うことができるだろう。つまり、実証分析結果が補完的効果を支持した場合には、これらの問題は仮説を棄却する方向にではなく、それをよりロバストにする方向に作用することになるのである。

この在来型工作機械の設置数としては、具体的には、「旋盤」「ボール盤」「中ぐり盤」「フライス盤」「研削盤」「歯切り盤及び歯車仕上機械」「専用機」「放電加工機」の各々において算出した。これらはすべてNC化されていない工作機械の設置台数である。さらに、これらの在来型工作機械自体の設置数ではなく、それらの機種をどの程度まで多く所有しているのかを示す「機種多様性」という変数も付け加えた。この変数は、たとえば、旋盤、ボール盤の2機種を所有していた場合には、2、それに加え中ぐり盤も所有していたら3という値を取るようになる。

なお、時間的要素に関する変数については、以下での実証分析はクロスセクション・データのみを使用しているため、説明変数には加えていない。説明変数の平均値・標準偏差、相関係数については表1 - 表4に示されている。

(表1、表2、表3、表4挿入)

NC工作機械の技術的・制度的背景

以下でNC工作機械の技術普及に関する実証分析を行なう前に、ここでこの実証分析の前提となるNC工作機械の技術的・制度的背景について簡単に記述しておきたい。

上述のように工作機械の加工精度・効率性は資本財産業の生産性、ひいては最終消費財の製品品質・コストに大きな影響を与えるものである。工作機械とは、機械をつくるマザーマシンであり、その製造物たる機械の性能・品質は、工作機械自身が有する加工精度を正確に反映する。この工作機械のもつ母性原理故に、資本財産業・機械工業における生産性は工作機械に多くを依存することになる。日本の製造業の強みはその全てではないにせよこの工作機械の優秀性に帰着することができるのである。

この工作機械における戦後の技術革新の中心はNC技術にあり、工作機械のNC化によるエレクトロニクス技術の導入、そして最近では情報通信技術の活用などを通じて工作機械の機能は短期間で飛躍的な進歩をとげてきた。日本に工作機械が導入されたのは明治中期にまで遡ることができるが、戦後にいたるまでその技術的水準は低く、輸入外国械を模範に国産化が徐々に進められていったにすぎなかった。日本の工作機械が技術的にも欧米を凌駕するに程に到った契機はこの工作機械のNC化に求めることができるのである。

NC工作機械の本質的な特徴は、切削作業の数値制御化(Numerical Control)にある。これにより、従来、熟練作業者の手作業によって行われていたワークや主軸の切削・送り

運動、位置決めなどが不要となり、サーボ機構による自動制御が可能になったのである。この数値制御を担当するのが NC 装置であり、NC 装置分野における飛躍的な技術進歩が、切削作業の高速化・高精度化を促進していく原動力となった。この NC 装置の技術的進歩は、ファナックを中心とする NC 装置メーカーによる技術開発に負うところが大きい。これらのメーカーによる数々の技術開発の結果、1960 年代までに、NC 装置は旋盤、フライス盤、ボール盤、中ぐり盤、旋盤、研削盤、型彫盤など多様な工作機械へと搭載されていき、在来型工作機械の NC 化は完了していった。そして、サーボ機構、モータ、半導体技術のさらなる向上により、NC 工作機械の低価格化・高機能化が推し進められていったのである。

このような NC 工作機械の技術的進歩と同時に、ユーザ側でも NC 工作機械は積極的に導入されていった。日本における NC 工作機械の技術的発展は、サプライヤ側（工作機械メーカー、NC 装置メーカー）での技術開発ばかりでなく、このユーザ側（資本財部門）での積極的な技術導入にも負うところが大きい⁸。それは、単に、工作機械メーカーの NC 技術への研究開発投資を経済的に回収可能なものにしたということだけではなく、ユーザ側の利用技術の高さが高速・高精度工作機械の開発をプッシュし、技術的なフィードバックをもたらしたのである。したがって、NC 工作機械の技術普及を分析する際、このようなユーザのもつ高い技術的能力が重要な役割を果たしているものと思われるのである。

4．結果

本節では、日本の資本財産業における NC 工作機械の技術普及について定量的に検討する。以下では、まず、資本財産業を構成する主要業種別に NC 工作機械の普及度を検討し、その後、NC 工作機械のなかでも代表的機種である NC 旋盤、マシニング・センタの機種別技術普及について考察することにしよう。

業種別 NC 工作機械の普及

NC 工作機械の普及度を検討するために、本稿では、業種別に技術普及の規定要因について分析する。このような分析により、業種特有の技術的・競争的要因をある程度、コントロールした上で技術普及の規定要因を検討することができる。ここで対象となる業種は、日本標準産業分類による一般機械器具製造業、電気機械器具製造業、輸送用機械器具製造業、精密機械器具製造業、金属製品製造業、非鉄金属製造業、鉄鋼業の計 7 業種であり、これらの業種は日本の資本財部門を代表する主要業種でもある。表 5、表 6 は 1987 年、1994 年に関する回帰分析結果である。

⁸ ここで、工作機械メーカー自体も資本財部門に含まれる点に注意しなければならない。そして、工作機械メーカーは同時に工作機械のユーザでもある。ただし、以下で特に問題にしているのは、この工作機械メーカーを除いた資本財部門で NC 化がどのように普及していったのかという点である。

(表5、表6挿入)

表5によると、規模に関する変数のなかで有意なのは一般機械、電気機械、輸送用機械の企業資本金、一般機械の機械部門従業者数、事業所従業者数の箇所のみであることが分かる。これらのなかで正の符号を取っているのは、一般機械の機械部門従業者数のみである。他の変数はすべて負の符号で有意になっている。このような結果は、NC 工作機械普及に際して規模は小さい方が望ましいということの意味している。

一方、旧技術による影響としては、旋盤、ボール盤、フライス盤、研削盤などの正の影響が顕著に伺える。これらのなかで負で有意な係数は、精密機械の旋盤のみである。総じて、在来型工作機械を数多く所有している事業所が同時に NC 工作機械を導入していることが読み取れる。さらに、機種多様性が全体的に非常に高い係数値及び統計的有意性を示していることから、在来型工作機械を多く所有しているだけでなく、それらが多岐に渡っている方が NC 工作機械導入の傾向が強いことが分かる。

このような結果を受けて、われわれは、旧技術に関する偏回帰係数の合計値と規模に関する偏回帰係数合計値との差について Wald 検定を行なった。表の下段に示されているように非鉄金属、鉄鋼業を除き、他のすべての業種においてこの差が非常に高い有意性を示していることが伺える。これらのことから、旧技術のポジティブな影響が規模よりも強く作用していることが読み取れるのである。

表6においても全体的には表5と同様の結果になっている。ただし、細部においては相違点も見られる。表6で規模において有意な影響が見られるのは、電気機械、精密機械の2業種のみであり、一般機械ではすべての規模変数で有意ではない。また、企業資本金、機械部門従業者数、事業所従業者数の影響も表5と表6とでは対照的な結果になっている。表6では、統計的に有意な係数においては、機械部門従業者数の影響はネガティブであり、事業所従業者数では逆に、ポジティブなものになっている。これらは表5とは正反対のものである。しかし、表5、表6を通じて共通しているのは、規模の影響が見られる業種は限られており、有意な規模変数も限定されているという点である。それに加え、これらの有意な影響が安定していないという結果は、NC 工作機械の技術普及に際してあまり規模は重要な役割を果たしていないことを意味しているのである。

それに対し、旧技術の影響は、表6でも顕著に見られる。ここでも、旋盤、ボール盤、フライス盤、研削盤などの影響が大きいことが分かる。さらに、機種多様性についても表5と同様、非常に高い係数値になっており、統計的にも大部分の業種で1%以下で有意な結果になっている。したがって、表5、表6を通じて旧技術の影響は、きわめて顕著で安定的に見られることが分かる。

表5と同様に旧技術、規模による影響を比較するため、両者に関する偏回帰係数合計値の差について検定を行なったところ、表6では、すべての業種において高い有意性が見ら

れた。表6では、表5以上に旧技術による影響が規模のそれを凌駕していることが分かるのである。したがって、本稿の基本的な仮説は支持されたことになるだろう。

しかしながら表3、表4から分かるように、規模に関する説明変数のなかで特に事業所出荷額と機械部門出荷額、機械部門従業者数と事業所従業者数とは高い相関関係にある。このことから多重共線性の問題が生じたために規模に関する統計的優位性が見られなかったとも考えられる。実際、これらの変数同士は、多くの場合、正反対の符号を取り、互いに似通った係数値になっている。その結果、規模による効果が相殺されているとも解釈できる。そこでわれわれは、機械部門出荷額、機械部門従業者数を除いて同様の回帰分析を行ったが、それでも Wald 検定では上と同様に旧技術による影響の方が強いという結果が得られた。

(表7挿入)

さらに、この多重共線性の問題をさらに検討するため、規模、旧技術による影響に関し、 R^2 による比較を行なった。これは規模、旧技術に関する変数を各々単独で取り上げ、回帰分析をした場合の R^2 を比較したものである。通常、多重共線性の問題が生じた場合、個々の偏回帰係数値の統計的優位性は見られないが、変数全体としての従属変数に対する説明力は高くなる。したがって、規模、旧技術の各説明力を比較したのである。この表からも NC 工作機械の普及を説明する際、旧技術に関する要因による説明力がきわめて高いことが明らかに伺える。旧技術、規模による説明力を比較すると、全体的に前者の説明力は後者の説明力のせいぜい3割程度にすぎないことが分かる。これらの結果も本稿の基本的仮説を支持するものであろう⁹。

NC 工作機械機種別普及：NC 旋盤、マシニング・センタ

次に、上で分析した NC 工作機械の普及をさらに機種別に検討することにしよう。ここではスペース上の制約から NC 工作機械のなかでも中心的な地位を占めている NC 旋盤、マシニング・センタの普及について分析する。従来、在来型工作機械が受け持ってきた機械加工の大部分はこれら NC 旋盤、マシニング・センタのみで事足りるようになっている。すなわち、NC 旋盤は、タレット旋盤、倣い旋盤、自動旋盤など In 来型旋盤の機能を代替し、マシニング・センタは、フライス盤、ボール盤、中ぐり盤の機能を代替するようになったのである。したがって、NC 工作機械のなかでも中心的な地位を占めているこれらの機種種の普及は特に注目に値するものとなる。特に、旧技術との関連からすると、NC 旋盤では旧技術としての旋盤、マシニング・センタでは、旧技術としてのフライス盤、ボール

⁹ これと同様の分析は、以下の NC 旋盤、マシニング・センタの技術普及についても実施し、そこでも同様の結果が得られた。ただし、スペース上の制約によりその詳細についての報告は省略する。

盤、中ぐり盤が、これらの新機種の普及にどのような影響を及ぼしているのかが問題となる。上の分析では、NC 工作機械を機種別に検討しておらず、技術代替における旧技術の効果については必ずしも正確に測定できている訳ではない。そこで、直接代替される旧機種と新機種との関連性を直接、評価しようというのがここでの目的である。表 8、表 9 は、NC 旋盤の技術普及に関する実証結果である。

(表 8、表 9 挿入)

表 8、表 9 から明らかなように NC 旋盤の導入により代替される在来型工作機械としての旋盤は、表 8 の精密機械を除くすべての業種において正で有意な影響を示していることが分かる。しかも、表 9 の非鉄金属以外、1%以下の高い有意水準であり、その非鉄金属にしても 5%以下とそれなりの高い水準にある。これらの結果は、直接、代替される旧技術をより多く所有している事業所が同時に新技术を導入する傾向が強いことを明示している。他の在来型工作機械の影響に関しては、旋盤以上に安定的で高い有意性を示しているものは見られない。ただし、機種多様性については全体的にきわめて高い有意水準にあり、多様な在来型工作機械を有している事業所の NC 旋盤採用の傾向が強いことが伺える。これは、上の分析結果と同様である。

規模による影響は、ここでもあまり強いものではないことが分かる。それらの影響が顕著に見られるのは、表 9 の電気機械のみであり、他の箇所では、負の符号で有意であったり、正の符号を取っていたとしてもせいぜい 10%以下で有意であるにすぎないことが読み取れる。表 9 の電気機械においても、規模の影響は旧技術よりも小さいことが表下段の Wald 検定から伺える。このことは、表 8 の非鉄金属、鉄鋼業以外、すべて成り立っている。したがって、直接、代替される旧技術が最も高いポジティブな影響を及ぼしており、それに対して、他の旧技術や規模などの影響はあまり強いものではないことが伺えるのである。

(表 10、表 11 挿入)

次に、マシニング・センタの普及について検討する。表 10、表 11 はその実証分析結果である。ここでマシニング・センタ採用により直接、代替される旧技術とは、ボール盤、中ぐり盤、フライス盤である。これらのなかでボール盤、フライス盤は、全体的に強いポジティブな影響を示している。中ぐり盤については表 10 ではあまり強い影響は見られず、表 11 では、むしろネガティブな影響を見て取ることができる。しかし、ボール盤、フライス盤に関しては少なくとも有意性の見られる箇所ではすべて正の符号をとっている。このように中ぐり盤についてはあまり強い影響を見ることはできないけれども、後者の 2 機種については在来型工作機械のなかで最も安定的で強い影響を及ぼしていることが分かる。われわれは、これら 3 つの機種に関して、トータルな影響を測定するため、それらの偏回

帰係数の合計値が正であるか否かを検定した。各表の下段にはその T 値が報告されている。これによると、大部分の業種で正の影響が見られることが読み取れる。

また、規模と旧技術の影響度を比較したところ、表下段に見られるように、上の分析結果と同様、全体的に旧技術の影響度の方が強いことが明らかである。実際、規模に関する変数の影響は、上の分析結果以上に弱く、正の符号で有意なものは 2ヶ所しか見られない。他の有意なものはすべて負の符号を取っている。したがって、ここでも規模による影響はあまり強いものではなく、マシニング・センタ採用に際して強く影響しているのは、それによって直接、代替されるボール盤、フライス盤ということが分かる。そして、それに加え、上の分析と同様、機種多様性も強い影響を及ぼしているのである。

5. 考察

以上の分析結果から、本稿の基本的な仮説である旧技術による影響が規模よりも大きいということが大部分、支持されたことになる。本節では、このような結果に対する解釈及びそこから導き出されるインプリケーションについて議論する。

規模の影響

前節の分析結果によると規模による影響はあまり大きいものではなく、旧技術、特に直接、代替されることになる旧技術をより多く有している事業所が新技術導入においても積極的であることが明らかになった。このような結果は、規模の重要性を特に強調した先行研究とは対照的なものである。たとえば、イギリスや米国における NC 工作機械の技術普及について調査した先行研究では、大規模組織において NC 工作機械が圧倒的に早く普及していることが報告されている (Romeo, 1975; Karshenas & Stoneman, 1993; Kelly, 1993)。もちろん、本稿とこれらの実証分析とでは使用している説明変数が厳密には一致しておらず、従属変数についても必ずしも同一ではない。しかしながら、規模に関する要因が本稿ではあまり強い統計的有意性を示さなかったという結果は、明らかにこれらの先行研究とは対照的なものと言うことができる。このような結果の相違はどのような要因に起因しているのだろうか。

まず、日本の工作機械産業では、そもそも中小企業における NC 化を促進することを目的として NC 工作機械の技術開発が進められてきた点で米英とは異なっていることに留意する必要があるだろう。NC 工作機械の汎用化は明らかに日本の技術的貢献であり、その汎用化とは NC 工作機械の低価格化・高機能化の同時追求に他ならなかった。そして、このような技術戦略のターゲットは、大企業に限定されたものではなく、むしろ、多くの中小規模の機械加工業者が対象となっていたのである。したがって、NC 工作機械の技術普及において、日本では規模による影響があまり強く見られず、部分的には小規模組織の方が技術普及のスピードが早かったという以上の結果は、日本で生じた NC 工作機械の技術革新のあり方ときわめて総合的なものとして解釈できるのである。

第二に、本稿のデータは 1987 年、1994 年のものであり、NC 工作機械に関する技術的な不確実性はあまりなく、すでにその汎用化が完結していた時期である。仮に、NC 工作機械の黎明期である 1960 年代後半や 1970 年代前半に同様の実証分析を行なったならば、規模による影響は顕著に見られたものと推測できる。これらの初期の段階では、NC 工作機械は依然として技術的に不安定であり、価格的にも高水準で推移していた。このような新技術に対する大規模な投資には、それに耐え得るだけの財務的基盤や操業度が維持されていなければならないのである。しかし、Karshenas & Stoneman (1993)、Kelly (1993) の研究に関しては本稿のデータと時期的に 1 年しか相違していないため、これらの時期的要因は日本独自の規模の影響を説明するものとは言えないだろう。したがって、これらの相違はやはり日本における NC 工作機械の汎用化が諸外国と比較して進展していたことが最も重要なことだと思われるのである。

もちろん、規模による影響は、たとえば NC 工作機械の設置台数などを説明する上では顕著に見られるものと予想される。いかに多くの NC 工作機械を保有するのかという問題を検討する際には、その事業所の規模が最も重視されなければならないからである。しかしながら、本稿で取り上げた問題は、このような保有台数ではなく NC 工作機械を保有しているかどうかというものである。つまり、新技術導入に関しては規模による影響はあまり顕著には見られなかったということが確認されたにすぎないのである。新技術をどの程度のスケール（台数）で導入するのかという問題を検討したのではない点に留意する必要があるだろう。

旧技術による補完的効果

次に、前節の実証分析では、直接、代替される旧技術を多く所有している事業所において新技術の普及が顕著であることが明らかになった。この旧技術による影響は、規模以上のものであることが明らかになったのである。この旧技術によるポジティブな影響は、新・旧技術間に代替性ではなく何らかの補完性が存在していることを示唆するものである。その補完性とは第一には、生産現場における技術的補完性である。実際、機械加工現場の多くを観察すると、生産ラインや持場毎に在来型工作機械、NC 工作機械が効率的に設置されており、機能的に両者は代替関係にあるけれども生産現場レベルでは両者の分業体制がうまく組み込まれている場合が多い。もちろん、将来的にはこれらの在来型工作機械は淘汰されていく傾向は強まるものと予想されるが、少なくとも現段階では、旧技術の強い影響とはこのような生産現場レベルでの補完性を反映しているものと考えられるのである。

さらに、この補完性に加え、利用技術レベルでの補完性も決定的に重要な役割を果たしているように思われる。ここに利用技術での補完性とは、旧技術での使用・作業経験が新技術においても効果的に活用できることを意味している。われわれはこのような補完性こそが最も強調すべき重要な要因であると考え。この利用技術での補完性が見られるということは、新・旧技術での経験から獲得された知識・ノウハウが継続的・累積的に蓄積さ

れていることに他ならない。新技術の潜在的採用者の規模にかかわらず、利用技術の継続的・累積的学習の見られる組織において新技術の迅速な普及が見られるのである。つまり、この利用技術の高さは、同時に、技術吸収能力が高いということを意味しているのである。

日本の資本財部門における特徴の一つとして、この利用技術の高さを指摘することができる。実際、日本の資本財部門における切削・機械加工技術水準の高さは著しいものである。このような技術的水準は、単にハードとしての設備の新しさに支えられているのではなく、それを使いこなす利用技術の高さの裏付けがありはじめて達成されるものである。そして、その利用技術は新・旧技術の採用・技術代替においても継続的・累積的に蓄積・活用され、両者の技術間で補完性が見られる点にその特徴を見出すことができる。上述のように小規模な末端の機械加工業者に到るまで日本では先端技術の導入が積極的に押し進められてきた。そして、そのような導入を可能にしたのが高いレベルでの技術吸収能力であり、その利用技術が技術的連続性・不連続性にかかわらず、継続的に蓄積されてきた点に大きく依存しているものと考えられるのである。

インプリケーション

このように旧技術による補完的効果が規模以上に強いという本稿の結果からどのような政策上のインプリケーションを導き出すことができるのだろうか。上述のように資本財部門は一国のイノベーション能力を規定する主要な要因である。特に、日本では、プロセス・イノベーションに優位性があり、製品面においても試作品製作の早さに定評がある。これらの活動は、資本財部門との緊密な協力関係があってはじめて発揮されるものであり、この資本財部門の技術的能力に多くを依存している。そして、それを支えているのが資本財部門の現場レベルでの果敢な新技術の導入であり、その背後にある利用技術の蓄積である。したがって、このような資本財部門での新技術の積極的な導入・利用技術の蓄積メカニズムをいかにして維持していくのが重要な政策的課題になるものと考えられる。

このような課題は、現在の不況及び構造転換期にはきわめて重要なものになる。現在、多くの資本財部門に属する中小企業、零細企業が倒産、廃業ないしはその危機に追い込まれている。このような過程のなかで、資本財部門での新技術の積極的な導入・利用技術の蓄積メカニズムが喪失してしまうことが強く危惧されるのである。もっとも、よく指摘される国内での過剰生産体制の見直しは長期的な視点からすると明らかに必要であり、このような淘汰をすべて否定すべきものではない。淘汰される企業に対する政策的補償を講じていく必要がある一方で、適切な国内生産水準への調整はむしろ積極的に促進していかなければならない。問題は、このような調整と資本財部門での強み、すなわち、積極的な新技術の導入、利用技術の蓄積が両立し得るのかという点にある。

この点に関し、従来の産業政策では、新技術導入に際して、税制上の優遇措置、補助金支給などの措置が取られてきた。これらの政策措置の有効性については多くの議論が見ら

れるので、ここで検討することは差し控えたい。ここでは、比較的、従来あまり議論されてこなかった次の2点について指摘しておきたい。

第一に、逆説的ではあるが、淘汰によりこれらの能力はむしろ向上していくことが期待されるという点である。というのも、競争的圧力が軽減されることにより先端技術の採用スピードは上昇していくことが予想されるからである¹⁰。実際、われわれは、上記のデータを業種別に分けずに回帰分析したところ、業種別の競争的変数の影響はほぼすべてにおいて有意であった。そこで考慮した競争的変数とは、業種別の事業所数、規模分布の分散、ハーフィンダール係数である。これらの影響とは、具体的には、事業所数の数が少なく、規模分布の分散が低く、さらに、ハーフィンダール係数が高ければNC工作機械の普及が促進されるというものであった。すなわち、競争圧力があまりない場合に、NC工作機械の普及は進むという結果が得られたのである。このような結果から、現在、進行中の企業淘汰により新技術採用スピードはむしろ上昇していくことが予想されるのである。

第二に、海外、特にアジア諸国への国内資本財部門の移転ないしは諸外国への依存について慎重な検討が必要である。国内産業の過剰生産体制、熟練作業員不足と高い人件費などを考慮するとアジア諸国への技術移転及びそれらの諸国との分業体制は必然的な流れであるように思われる。しかしながら、これらのアジア諸国では資本財などの基盤産業が十分育っているとは言えず、むしろ、それらの多くは日本からの輸入に依存している面も大きい。さらに、アジア諸国では、優秀な人材を長期に渡って継続的に確保することも困難な状況にある。このことは、特定の企業・事業所レベルで技術的能力を継続的に蓄積していくことの難しさを示唆するものである。したがって、アジア諸国との分業体制の確立は、まだ期が熟していないように思われるのである。

さらに、試作品の製作、量産体制の整備など最終消費財部門における鍵となるイノベーション局面では、資本財部門との地理的近接性がきわめて重要な役割を果たしているように思われる。これらの段階での秘匿情報の漏洩を阻止するためには、対応する資本財部門との信頼関係の形成が必要であり、そのためには、地理的な近接さも依然として現場では求められるだろう。そして、それに加え、技術開発段階での濃密な情報共有、すなわち、暗黙知レベルでの情報・知識の共有には頻繁なフェイス・ツー・フェイスの相互作用がやはり重要であるように思われる。もっとも、インターネットや電子データ交換(EDI)の導入などによってこの問題はある程度まで緩和されていくのかも知れない。しかし、現段階では、鍵となるイノベーション・プロセスに資本財部門が関与する際、地理的近接性は依然として重要な役割を担っているものと考えられる。そうであるならば、早急な空洞化は、あまり望ましいものとは言えない。重要なのは、資本財部門におけるどのような技術

¹⁰ この予測は、上述の先取りゲームの理論的予測とは正反対のものであるが、第2節の規模に関する影響の箇所でも議論したように、新技術導入に要する諸費用の負担という点で競争圧力はネガティブにも作用するものとも考えられるのである。

的能力を国内に残していくのかを慎重に見極めることである。その上で、第一義的には、企業レベルでの努力が求められ、それで対処できない場合には、何らかの政策的介入が求められることになるだろう。

このような資本財部門を国内に維持し、そこでの技術的变化を促すことは国内イノベーション能力を規定するきわめて重要な経営戦略上の課題であり、同時に、産業政策上の課題でもある。現在はあらゆる意味でこの資本財部門が試練の時期を迎えている。今後、日本の資本財部門がこの環境変化にどのように適応し、自ら変革していくのか十分、注意深く見守っていく必要があるだろう。

参考文献

Cohen, W. M. and D. A. Levinthal (1990). "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation." Administrative Science Quarterly **35**: 128-152.

David, P. A. (1986). Technology Diffusion, Public Policy, and Industrial Competitiveness. The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth. R. Landau and N. Rosenberg (eds). Washington D.C., National Academy Press.

Davies, S. (1979). The Diffusion of Process Innovations. Cambridge, Cambridge University Press.

Farrell, J. and G. Saloner (1986). "Installed Bases and Compatibility: Innovation, Product Preannouncements, and Predation." American Economic Review **76**: 940-955.

Fudenberg, D. and J. Tirole (1985). "Preemption and Rent Equalization in the Adoption of New Technology." Review of Economic Studies **52**: 383-401.

Karshenas, M. and P. L. Stoneman (1993). "Rank, Stock, and Epidemic Effects in the Diffusion of New Process Technologies: an Empirical Model." Rand Journal of Economics **24**: 503-528.

Kelly, M. R. (1993). Organizational Resources and the Industrial Environment: the Importance of Firm Size and Inter-firm Linkages to the Adoption of Advanced

Manufacturing Technology. Int J. Technology Management, Special Publication on Small Firms and Innovation. M. Dodgson and R. Rothwell (eds) : 36-68.

Mansfield, E. (1968). Industrial Research and Technological Innovation: An Econometric Analysis. New York, W. W. Norton & Co.

Romeo, A. A. (1975). "Interindustry and Interfirm Differences in the Rate of Diffusion of an Innovation." The Review of Economics and Statistics **57**: 311-319.

Rosenberg, N. (1976). Perspectives on Technology. Cambridge, Cambridge University Press.

Stoneman, P. L. (1986). "Technological Diffusion: The Viewpoint of Economic Theory." Ricerche Economiche **40**: 585-606.

表 1 . 説明変数の業種別平均値・標準偏差 (1987年)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
企業資本金	4.741 (2.287)	4.594 (2.734)	5.126 (2.526)	4.476 (2.159)	4.548 (2.060)	4.473 (1.966)	4.818 (2.224)
事業所出荷額	7.823 (1.236)	7.803 (1.570)	8.384 (1.572)	7.718 (1.350)	7.711 (1.055)	7.746 (1.329)	7.693 (1.091)
機械部門出荷額	7.756 (1.261)	7.783 (1.575)	8.356 (1.595)	7.673 (1.353)	7.619 (1.112)	7.720 (1.324)	7.613 (1.133)
機械部門従業者数	222.833 (407.675)	330.234 (602.034)	482.634 (1230.616)	269.008 (398.481)	151.393 (152.951)	179.099 (242.029)	164.325 (214.851)
事業所従業者数	232.666 (416.307)	333.413 (602.554)	487.573 (1231.985)	275.545 (397.746)	163.059 (166.021)	182.407 (242.484)	171.081 (216.016)
旋盤	17.222 [*] (34.797)	5.082 (17.141)	29.642 [*] (70.065)	22.687 (68.361)	9.261 [*] (21.860)	10.637 [*] (25.171)	10.979 (26.547)
ボール盤	16.927 (26.860)	5.375 (14.635)	27.750 (58.197)	11.389 (21.518)	9.101 (11.048)	29.923 (78.924)	7.491 (12.831)
中ぐり盤	2.524 (6.317)	0.363 (1.806)	3.500 (14.787)	0.586 (1.899)	0.427 (1.943)	2.945 (19.119)	1.017 (2.418)
フライス盤	10.663 (20.561)	2.707 (7.290)	12.070 (27.714)	9.881 (24.442)	4.127 (11.416)	7.253 (16.860)	4.654 (12.265)
研削盤	22.435 (84.423)	5.048 (18.897)	23.147 (74.545)	9.340 (25.294)	7.654 (20.840)	3.220 (5.970)	3.487 (9.020)
歯切り盤・歯車仕上機	3.243 (15.476)	0.232 (2.090)	9.408 (60.467)	3.529 (25.044)	0.123 (0.991)	- (-)	0.064 (0.797)
専用機	8.277 (37.287)	1.147 (11.368)	28.945 (89.191)	5.852 (36.597)	2.993 (10.516)	8.604 (23.223)	3.632 (21.473)
機種多様性	4.608 ^{***}	2.439 ^{***}	4.266 [*]	3.556 ^{***}	3.619	4.099	3.303 ^{***}
N	(1.528)	(1.975)	(1.770)	(1.948)	(1.434)	(1.342)	(1.703)

注) 表における数値は平均値、括弧内の数値は標準偏差を示す。

非鉄金属製造業では、歯切り盤・歯車仕上機を所有する企業はすべてNC工作機械を採用していたため、この変数は除外している。

表 2 . 説明変数の業種別平均値・標準偏差 (1994 年)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
企業資本金	4.973 (2.399)	4.646 (2.592)	5.221 (2.598)	4.600 (2.166)	4.777 (2.262)	5.629 (2.581)	5.218 (2.349)
事業所出荷額	7.906 (1.217)	7.739 (1.510)	8.398 (1.492)	7.724 (1.331)	7.881 (1.082)	8.322 (1.262)	7.996 (1.009)
機械部門出荷額	7.874 (1.222)	7.727 (1.514)	8.386 (1.494)	7.708 (1.330)	7.834 (1.085)	8.292 (1.259)	7.966 (1.017)
機械部門従業者数	228.523 (372.998)	263.805 (481.971)	383.968 (996.566)	228.468 (338.678)	144.668 (185.964)	250.170 (383.257)	164.122 (190.483)
事業所従業者数	215.386 (383.560)	269.423 (507.096)	390.032 (1000.378)	232.867 (341.836)	153.884 (231.948)	261.144 (417.451)	168.717 (193.076)
旋盤	12.328 (29.233)	3.181 (12.198)	18.597 [*] (48.528)	14.433 (46.520)	4.782 [*] (11.145)	4.275 (8.071)	6.191 (14.561)
ボール盤	12.115 [*] (19.287)	3.873 (10.462)	19.462 (42.071)	7.783 (12.937)	7.732 (11.012)	10.224 (42.724)	6.073 (18.357)
中ぐり盤	1.663 (5.862)	0.231 (1.287)	1.839 (8.760)	0.496 (1.535)	0.233 (1.372)	0.847 (9.616)	0.818 (2.681)
フライス盤	7.589 (14.671)	1.875 (5.478)	8.280 (20.593)	6.049 (12.883)	3.198 (10.378)	3.108 (10.223)	3.131 (11.746)
研削盤	18.404 (66.888)	3.726 (16.875)	17.812 (63.330)	7.329 (18.192)	5.307 (20.136)	2.864 (6.461)	2.854 (9.378)
歯切り盤・歯車仕上機	2.768 (17.502)	0.198 (2.093)	6.898 (46.993)	2.119 (13.732)	0.076 (0.702)	- (-)	0.085 (0.619)
専用機	4.995 (22.322)	1.090 (11.363)	21.678 (93.247)	3.560 (25.281)	2.350 (11.926)	2.099 (16.013)	3.739 (25.167)
機種多様性	4.207 (1.680)	2.125 ^{***} (1.911)	3.803 [*] (1.892)	3.103 ^{***} (2.071)	3.091 (1.570)	2.915 (1.740)	2.881 (1.805)
N							

注) 表における数値は平均値、括弧内の数値は標準偏差を示す。

非鉄金属製造業では、歯切り盤・歯車仕上機を所有する企業はすべてNC工作機械を採用していたため、この変数は除外している。

表3 . 説明変数の相関係数 (1987 年)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
(1) 企業資本金												
(2) 事業所出荷額	.725											
(3) 機械部門出荷額	.697	.966										
(4) 機械部門従業者数	.486	.583	.582									
(5) 事業所従業者数	.498	.597	.573	.981								
(6) 旋盤	.205*	.265	.263*	.372	.367*							
(7) ボール盤	.211	.286	.282	.357	.355	.523						
(8) 中ぐり盤	.230	.259	.255	.380	.378	.421	.525					
(9) フライス盤	.258	.318	.315	.441	.437	.620	.692	.543				
(10) 研削盤	.244	.266	.262	.408	.405	.566	.386	.366	.532			
(11) 歯切り盤・歯車仕上機	.144	.178	.178	.350	.343	.542	.308	.385	.399	.435		
(12) 専用機	.169	.235	.235	.320	.313	.465	.474	.239	.476	.376	.399	
(13) 機種多様性	.324	.377	.362	.236	.240	.348	.384	.268	.404	.248	.160	.244

表4 . 説明変数の相関係数 (1994 年)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
(1) 企業資本金												
(2) 事業所出荷額	.712											
(3) 機械部門出荷額	.705	.992										
(4) 機械部門従業者数	.481	.579	.582									
(5) 事業所従業者数	.486	.578	.568	.970								
(6) 旋盤	.165	.221	.221*	.331	.325							
(7) ボール盤	.191	.269	.268	.364	.365	.492						
(8) 中ぐり盤	.189	.215	.214	.324	.317	.373	.499					
(9) フライス盤	.217	.276	.275	.431	.440	.497	.714	.529				
(10) 研削盤	.227	.236	.235	.404	.407	.500	.385	.369	.496			
(11) 歯切り盤・歯車仕上機	.124	.157	.158	.328	.313	.421	.296	.324	.359	.387		
(12) 専用機	.122	.167	.169	.252	.242	.323	.340	.261	.323	.357	.236	
(13) 機種多様性	.301	.360	.355	.238	.237	.320	.380	.242	.397	.251	.154	.183

表5 . 1987年 業種別 NC 工作機械普及規定要因 (平均確率微係数)

(単位: %)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
規模の影響							
企業資本金	-1.029**	-0.550*	-2.116***	-0.865	0.037	0.090	-2.658
事業所出荷額	2.858	-1.681	-16.198	8.849	4.203	1.049	7.925
機械部門出荷額	-2.417	3.276	18.872	-12.121	-2.875	-0.629	-2.619
機械部門従業者数	0.043***	-0.027	-0.086	0.107	0.036	-0.013	-0.119
事業所従業者数	-0.025*	0.025	0.084	-0.070	-0.005	0.014	0.135
旧技術の影響							
旋盤	0.098**	0.150**	0.179***	-0.212**	0.512***	0.039	1.584***
ボール盤	0.022	0.839***	0.299***	-0.012	0.689**	0.049**	-0.919
中ぐり盤	0.592	1.043	0.469	4.438	0.438	0.505	1.458
フライス盤	0.867***	2.923***	0.194	1.241***	0.111	0.064	3.937***
研削盤	0.148***	0.177***	0.302**	0.393**	1.448***	0.205	-0.308
歯切り盤・歯車仕上機	0.115	1.688	0.478	0.458	0.403	-	-3.549
専用機	-0.020	0.024	-0.010	0.133	0.029	0.010	-0.116
機種多様性	9.446***	5.345***	10.653***	10.064***	5.979***	-0.189	5.462**
旧技術 - 規模の検定	9.294***	6.176***	7.602***	5.004***	2.337**	0.283	0.368
R^2	0.366	0.506	0.451	0.457	0.248	0.403	0.466
N	2167	3244	1343	487	740	91	234

注) 従属変数はNC工作機械採用事業所を示すダミー変数である。

表で報告されている数値は、偏回帰係数ではなくそれにもとづいて算出した平均確率微係数である。つまり、対応する説明

変数が1単位増加したとき、NC工作機械を採用する確率がどの程度増えるのかという弾力性を%表示で示したものである。

非鉄金属製造業では、歯切り盤・歯車仕上機を所有する企業はすべてNC工作機械を採用していたため、回帰分析ではこの変数は除外して行なった。

旧技術 規模の検定箇所では、T値が報告されている。これらの値は、旧技術に関する8つの回帰係数の合計値と規模に

関する5つの回帰係数合計値との差についてWALD検定した結果である。

p値に関しては、すべて両側検定にもとづいて算出している。

* p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01

表6 . 1994年 業種別NC工作機械普及規定要因(平均確率微係数)

(単位: %)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
規模の影響							
企業資本金	-0.096	0.783***	-0.748	0.140	-0.369	-1.564	0.060
事業所出荷額	4.501	7.208	-12.075	-12.693	-7.049	29.443	0.303
機械部門出荷額	-3.743	-6.718	13.124	10.928	10.198	-28.907	-2.070
機械部門従業者数	0.022	-0.034**	-0.055	-0.459*	-0.055	-0.011	-0.113
事業所従業者数	-0.020	0.033**	0.054	0.474**	0.064	0.012	0.130
旧技術の影響							
旋盤	0.051	0.651***	0.117**	0.334*	0.307**	0.182	1.077**
ボール盤	0.386***	0.926***	0.299***	-0.040	0.814***	1.112***	1.834**
中ぐり盤	-0.300	2.412**	-0.064	2.727	-0.276	10.164	-0.477
フライス盤	0.777**	1.127***	0.863***	1.926***	-0.016	4.264***	5.361***
研削盤	0.160***	0.403***	0.205**	0.048	0.813***	0.782*	0.323
歯切り盤・歯車仕上機	-0.153**	-0.197	0.032	-0.758*	-2.359	-	4.998
専用機	0.064	0.213	0.014	-0.246**	-0.045	0.290	0.192
機種多様性	9.586***	6.230***	10.224***	8.984***	9.458***	4.705**	3.740*
旧技術 - 規模の検定	10.703***	8.497***	9.177***	4.266***	2.030**	3.375***	2.751***
R^2	0.401	0.466	0.440	0.556	0.265	0.485	0.423
N	2860	4562	1764	571	1592	353	329

注) 従属変数はNC工作機械採用事業所を示すダミー変数である。

表で報告されている数値は、偏回帰係数ではなくそれにもとづいて算出した平均確率微係数である。つまり、対応する説明

変数が1単位増加したとき、NC工作機械を採用する確率がどの程度増えるのかという弾力性を%表示で示したものである。

非鉄金属製造業では、歯切り盤・歯車仕上機を所有する企業はすべてNC工作機械を採用していたため、回帰分析ではこの

変数は除外して行なった。

旧技術 規模の検定箇所では、T値が報告されている。これらの値は、旧技術に関する8つの回帰係数の合計値と規模に

する5つの回帰係数合計値との差についてWALD検定した結果である。

p値に関しては、すべて両側検定にもとづいて算出している。

* p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01

表7. 業種別規模 vs. 旧技術説明力

(単位：%)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
1987年							
(1) 規模による説明力	4.1	11.7	6.8	13.0	6.9	20.1	14.6
(2) 旧技術による説明力	36.2	50.4	44.3	44.8	24.1	35.7	45.0
(3) (1) ÷ (2)	11.3	23.2	15.3	29.0	28.6	56.3	32.4
1994年							
(1) 規模による説明力	3.5	10.6	7.3	15.6	6.4	6.2	9.4
(2) 旧技術による説明力	40.2	46.5	43.9	55.0	25.9	47.3	42.2
(3) (1) ÷ (2)	8.7	22.8	16.6	28.4	24.7	13.1	22.3

注) 規模による説明力とは、規模に関する変数及び定数項のみを用いたプロビット回帰分析の R^2 値である。同様に、旧技術による説明力とは、旧技術に関する変数及び定数項のみを用いたプロビット回帰分析の R^2 値である。

表 8 . 1987 年業種別 NC 旋盤普及規定要因 (平均確率微係数)

(単位 : %)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
規模の影響							
企業資本金	-0.314	0.413*	-0.238	0.420	-0.765	1.568	-0.963
事業所出荷額	0.769	0.023	-26.185*	29.065*	-12.472	11.716	-3.822
機械部門出荷額	2.715	-0.517	24.650	-29.721*	12.881	-9.612	13.097
機械部門従業者数	0.007	-0.025*	-0.074	0.118	-0.050	-0.755	-0.343*
事業所従業者数	-0.005	0.025*	0.072	-0.111	0.067*	0.714	0.321
旧技術の影響							
旋盤	0.589***	0.473***	0.294***	0.052	0.682***	3.206***	2.090***
ボール盤	0.124*	0.375***	0.038	0.628***	-0.003	0.121	-0.275
中ぐり盤	-0.243	-0.441	0.728**	4.067*	-0.396	-6.469**	-0.230
フライス盤	0.167	0.244**	0.036	-0.084	-0.142	-0.330	0.390
研削盤	-0.013	0.016	0.473***	0.099	0.161	1.510	0.127
歯切り盤・歯車仕上機	0.148	0.892*	-0.009	-0.393**	1.071	-	2.448
専用機	-0.045	0.118*	0.011	0.000	0.048	0.499	-0.445
機種多様性	11.737***	3.979***	9.069***	8.747***	6.681***	6.063	4.762**
旧技術 - 規模の検定	6.413***	6.871***	8.783***	4.010***	3.174***	0.978	0.522
R ²	0.294	0.508	0.519	0.381	0.262	0.369	0.392
N	2167	3244	1343	487	740	91	234

注) 従属変数は NC 旋盤採用事業所を示すダミー変数である。

表で報告されている数値は、偏回帰係数ではなくそれにもとづいて算出した平均確率微係数である。つまり、対応する説明

変数が 1 単位増加したとき、NC 工作機械を採用する確率がどの程度増えるのかという弾力性を % 表示で示したものであ

る。

非鉄金属製造業では、歯切り盤・歯車仕上機を所有する企業はすべてNC工作機械を採用していたため、回帰分析ではこの変数は除外して行なった。

旧技術 規模の検定箇所では、T値が報告されている。これらの値は、旧技術に関する8つの回帰係数の合計値と規模に関する5つの回帰係数合計値との差についてWALD検定した結果である。

する5つの回帰係数合計値との差についてWALD検定した結果である。

p値に関しては、すべて両側検定にもとづいて算出している。

* p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01

表9 . 1994年業種別NC旋盤普及規定要因(平均確率微係数)

(単位：%)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
規模の影響							
企業資本金	0.590	0.548***	-0.383	0.313	0.101	-1.349	-0.942
事業所出荷額	6.740	9.222***	-4.233	21.013	0.032	16.070	34.060
機械部門出荷額	-5.391	-9.912***	1.888	-23.528	0.030	-17.0768	-29.620
機械部門従業者数	-0.018	0.028***	-0.044	0.037	-0.015	-0.022	0.089
事業所従業者数	0.017	-0.027***	0.043	-0.013	0.027	0.035	-0.101
旧技術の影響							
旋盤	0.490***	0.454***	0.170***	0.371***	1.224***	0.816**	1.701***
ボール盤	0.604***	0.606***	0.326***	0.761***	-0.056	0.712**	1.278**
中ぐり盤	-0.141	-0.171	-0.379**	4.234**	0.285	0.986	0.303
フライス盤	0.081	0.443***	-0.135	-0.194	0.079	1.142	0.011
研削盤	0.093***	0.016	0.509***	0.043	0.167**	0.801**	-0.105
歯切り盤・歯車仕上	0.081	1.646**	0.308	-0.728**	1.936	-	7.606
機							
専用機	0.017	-0.039	0.079***	0.491	-0.002	1.347**	0.830
機種多様性	10.929***	3.909***	9.104***	7.065***	6.218***	1.812	5.910***
旧技術 - 規模の検定	9.167***	7.989***	9.900***	4.684***	4.721***	2.586***	1.816*

R^2	0.345	0.460	0.463	0.457	0.338	0.381	0.355
N	2860	4562	1764	571	1592	353	329

注) 従属変数はNC旋盤採用事業所を示すダミー変数である。

表で報告されている数値は、偏回帰係数ではなくそれにもとづいて算出した平均確率微係数である。つまり、対応する説明

変数が1単位増加したとき、NC工作機械を採用する確率がどの程度増えるのかという弾力性を%表示で示したものである。

非鉄金属製造業では、歯切り盤・歯車仕上機を所有する企業はすべてNC工作機械を採用していたため、回帰分析ではこの

変数は除外して行なった。

旧技術 規模の検定箇所では、T値が報告されている。これらの値は、旧技術に関する8つの回帰係数の合計値と規模に

関する5つの回帰係数合計値との差についてWALD検定した結果である。

p値に関しては、すべて両側検定にもとづいて算出している。

* p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01

表10. 1987年業種別マシニング・センタ普及規定要因(平均確率微係数)

(単位: %)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
規模の影響							
企業資本金	-0.793	-0.093	-0.976	0.120	-1.916**	-1.364	-0.240
事業所出荷額	-0.673	1.526	-0.655	7.640	-3.255	-270.876	11.127
機械部門出荷額	4.624	0.016	1.687	-5.153	1.199	284.554	-3.834
機械部門従業者数	0.016	0.022	-0.030	-0.027	0.033	-1.670	-0.030
事業所従業者数	-0.018	-0.022	0.027	0.031	0.007	1.704	-0.019
旧技術の影響							
旋盤	-0.159***	-0.040	-0.071***	-0.084	-0.049	0.396	-0.091
ボール盤	0.238***	0.299***	0.119*	0.277*	0.186	0.525*	0.587
中ぐり盤	0.579*	1.231***	0.078	2.559	0.075	7.723	1.286
フライス盤	0.897***	1.073***	0.544***	0.313*	-0.031	-0.928	2.032***
研削盤	-0.019	-0.035*	-0.036	0.293*	0.365***	-0.606	-0.172
歯切り盤・歯車仕上機	-0.018	-0.560*	0.081**	-0.138	-0.977	-	0.169
専用機	-0.112***	-0.051	-0.029	0.062	0.013	0.541	0.732**

機種多様性	11.666***	4.509***	13.230***	6.704***	8.184***	3.127	5.019**
旧技術 - 規模の検定	6.705***	6.652***	9.261***	2.429**	4.556***	-0.890	0.194
代替される技術の影響	4.941***	5.575***	3.372***	1.826*	0.407	1.476	2.784***
R ²	0.294	0.449	0.385	0.356	0.209	0.496	0.439
N	2167	3244	1343	487	740	91	234

注) 従属変数はマシニング・センタ採用事業所を示すダミー変数である。

表で報告されている数値は、偏回帰係数ではなくそれにもとづいて算出した平均確率微係数である。つまり、対応する説明

変数が1単位増加したとき、NC工作機械を採用する確率がどの程度増えるのかという弾力性を%表示で示したものである。

非鉄金属製造業では、歯切り盤・歯車仕上機を所有する企業はすべてNC工作機械を採用していたため、回帰分析ではこの

変数は除外して行なった。

旧技術 規模の検定箇所では、T値が報告されている。これらの値は、旧技術に関する8つの回帰係数の合計値と規模に

関する5つの回帰係数合計値との差についてWALD検定した結果である。

代替される技術の影響の箇所では、マシニング・センタによって代替されるボール盤、中ぐり盤、フライス盤の回帰係数

合計値についてWALD検定した結果である。

p値に関しては、すべて両側検定にもとづいて算出している。

* p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01

表11 . 1994年業種別マシニング・センタ普及規定要因(平均確率微係数)

(単位: %)

	一般機械	電気機械	輸送用機械	精密機械	金属製品	非鉄金属	鉄鋼業
規模の影響							
企業資本金	-0.327	0.383*	-1.700***	0.529	-1.277**	-2.943***	-3.105**
事業所出荷額	3.907	3.454	19.761	10.119	-1.439	12.009	54.541
機械部門出荷額	-2.259	-4.496	-18.054	-7.728	-0.093	-12.136	-54.202
機械部門従業者数	-0.025	-0.021*	-0.047	-0.097	-0.062	-0.011	0.242
事業所従業者数	0.025	0.024**	0.046	0.094	0.079	0.018	-0.229
旧技術の影響							
旋盤	-0.140***	-0.102**	-0.058**	0.083	0.000	0.073	0.251

ボール盤	0.492***	0.309***	0.157***	0.927***	0.244**	0.374	0.719*
中ぐり盤	-0.770***	0.970**	-0.413**	2.660	-2.338***	8.788**	0.682
フライス盤	1.184***	1.194***	0.464***	0.026	0.219	2.407***	3.401***
研削盤	-0.022	0.063***	0.018	0.002	0.315***	0.347	-0.251
歯切り盤・歯車仕上機	-0.115*	-0.250	-0.027	-0.573*	-0.025	-	1.514
専用機	-0.105**	-0.035	0.026	-0.004	-0.094	2.291**	0.146
機種多様性	12.707***	6.190***	12.511***	8.032***	9.646***	3.572**	6.576***
旧技術 - 規模の検定	10.983***	12.049***	9.881***	3.212***	5.266***	4.818***	3.719***
代替される技術の影響	4.390***	4.942***	1.278	2.074**	-2.543**	2.840***	3.278***
R ²	0.354	0.420	0.360	0.412	0.209	0.458	0.412
N	2860	4562	1764	571	1592	353	329

注) 従属変数はマシニング・センタ採用事業所を示すダミー変数である。

表で報告されている数値は、偏回帰係数ではなくそれにもとづいて算出した平均確率微係数である。つまり、対応する説明

変数が1単位増加したとき、NC工作機械を採用する確率がどの程度増えるのかという弾力性を%表示で示したものである。

非鉄金属製造業では、歯切り盤・歯車仕上機を所有する企業はすべてNC工作機械を採用していたため、回帰分析ではこの変数は除外して行なった。

旧技術 規模の検定箇所では、T値が報告されている。これらの値は、旧技術に関する8つの回帰係数の合計値と規模に

関する5つの回帰係数合計値との差についてWALD検定した結果である。

代替される技術の影響の箇所では、マシニング・センタによって代替されるボール盤、中ぐり盤、フライス盤の回帰係数

合計値についてWALD検定した結果である。

p値に関しては、すべて両側検定にもとづいて算出している。

* p<0.1 ** p<0.05 *** p<0.01