

内閣府経済社会総合研究所
平成 18 年度イノベーション国際共同研究

技術/技術革新の経済分析研究会 論文集

平成 19 年 3 月

はじめに

慶應義塾大学 中野 諭

現代の経済社会は、さまざまな技術を基礎とする相互依存的な構造を有している。したがって、わが国の従来の経済政策や科学技術政策を評価し、今後の成長戦略の設計を行うためには、技術、技術革新、あるいはイノベーションの特性や構造を経済学のフレームワークによって捉えることが重要である。また、わが国の持続可能な成長のために技術革新やイノベーションを推進するに当たり、実際にどのような枠組み、手段が有効であるかの検証を試みる必要もある。本研究会では、これらのチャレンジングな課題に取り組む。

しかしながら、技術や技術革新を計量経済学や産業連関分析など経済学のフレームワークのみで捉えるには限界があり、工学的情報を取り込んだ経済分析が不可欠である。また、経済学で捉える技術レベルと工学で捉える技術レベルとは、大きく乖離しているのも事実である。そこで、工学系研究者と経済学系研究者が研究会に参加して議論することを通して、学際的な研究を展開する。

本研究会における研究テーマは、大きく 3 つにわけることができる。以下に、その研究テーマと各委員による研究との対応を示す。

1. 成長戦略のための技術的ボトルネックの解消～技術的シーズとニーズのマッチング

「わが国の生産プロセスレベルにおける生産性分析」

慶應義塾大学 中野 諭

2. 政策立案に資するイノベーションが産む価値の把握

～教育・人材政策などを含む総合政策としての R&D 政策立案に向けて

「イノベーションの経済分析」

日本福祉大学 西村一彦

「大学の研究開発活動が産業技術革新に及ぼす効果に関する研究」 日本大学 権 赫旭

3. 持続可能な発展のためビジネスモデル～対外開放的なイノベーションシステムの構築

「アジア開発途上国での環境改善プロセス導入における経済性、環境影響評価基盤の構築」

東京大学 酒井裕司

研究会の構成

座長	慶應義塾大学グローバルセキュリティ研究所 研究員	中野 諭
委員	日本福祉大学経済学部 助教授	西村一彦
委員	日本大学経済学部 専任講師	権 赫旭
委員	東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻 助手	酒井裕司
研究協力者	慶應義塾大学グローバルセキュリティ研究所 研究助手	鈴木将之
オブザーバー	内閣府経済社会総合研究所 総括政策研究官	干場静夫
オブザーバー	内閣府経済社会総合研究所 研究官	中川尚志
事務局	(財) 政策科学研究所 主任研究員	小松真弓
事務局	(財) 政策科学研究所 研究部	安藤朋子

技術/技術革新の経済分析研究会論文集

目次

I. 論文要旨	1
II. 論文集	21
■ 「わが国の生産プロセスレベルにおける生産性分析」 慶應義塾大学 中野 諭	23
■ 「イノベーションの経済分析」 日本福祉大学 西村 一彦	33
■ 「大学の研究開発活動が産業技術革新に及ぼす効果に関する研究」 日本大学 権 赫旭	43
■ 「アジア開発途上国での環境改善プロセス導入における 経済性、環境影響評価基盤の構築」 東京大学 酒井 裕司	55

1. 論文要旨

わが国の生産プロセスレベルにおける生産性分析¹

慶應義塾大学 中野 論

1. 問題の所在

現代社会は、無数に存在する技術に基づく複雑かつ動的な構造を有しており、個々の技術は相互に関連している。そのため、ある 1 つの技術を抽出し、その経済的なパフォーマンスを計測することは非常に困難である。したがって、どの技術が経済成長の牽引役になっているのか、あるいはボトルネックになっているのかを判別することは難しい。

レオンチェフによって提案された投入産出フレームワークの重要な側面の 1 つは、社会の技術的特性に基づく経済の構造的リンケージを描写する分析ツールを提供することである。本研究は、現在入手可能でもっとも分類が詳細なデータをもちい、生産プロセスレベルでの生産性の計測を行った。また、生産性の観点から技術のリンケージにおける構造変化を観察することによって、わが国経済の技術的ボトルネックの解明を試みた。

2. 評価手法およびデータ

生産プロセスの経済的パフォーマンスを計測する手法として、本研究では伝統的な静学的 TFP(全要素生産性)成長率を計測している。また、これに加えて、ユニット・ストラクチャーの概念を導入した静学的ユニット TFP 成長率も計測している。ある最終需要が発生したとき、当該財の生産が誘発されるだけでなく、それにともなって様々な原材料の生産も誘発される。それらのすべて財・サービスの投入バスケットをユニット・ストラクチャーという。したがって、静学的ユニット TFP 成長率は、当該財の生産におけるパフォーマンス(伝統的な静学 TFP 成長率)だけでなく、それと連鎖するさまざまな原材料の生産プロセスのパフォーマンスを加味した指標である。

これら 2 つの TFP 成長率によって生産プロセスの経済的パフォーマンスの計測が可能になったが、これらを比較するだけでは経済成長の牽引役やボトルネックを抽出することはできない。わが国の産業構造と照らして、さほどシェアの大きくないプロセスでパフォーマンスが非常に良かった、あるいは逆に悪かったとしてわが国経済にそれほど大きな影響は与えない。そこで、各生産プロセスの TFP 成長率をドーマー・ウェイトによって集計した静学的マクロ TFP 成長率を計測し、それに対する各生産プロセスの寄与を観察することで、経済の技術的ボトルネックの抽出を行った。

もっとも詳細な分類のもとで経済の相互依存体系を表現している統計データは、『産業連関表』である。本研究では、1960 年より 5 年おきに作成されている『接続産業連関表』の基本分類レベルでのデータをもちいている。基本分類は、約 400 の財・サービスの生産プ

¹ 本研究は、内閣府経済社会総合研究所：黒田昌裕所長との共同研究の成果の一部である。

ロセスで構成されており、詳細な分析が可能である²。財・サービスの投入産出構造、および財・サービスの価格の情報は、『接続産業連関表』に依っている。また、資本および労働の価格データは、KEO データベースを活用している。

3. 結果

表1および2は、1990-95年および1995-2000年における生産プロセス別のドーマー・ウェイト、静学的TFP成長率、および寄与(前者2つの積)を、寄与の低い方から50プロセスだけ抽出して示したものである³。この表に示される生産プロセスがそれぞれの期間において、わが国の経済の技術的ボトルネックになっていたプロセスであったと解釈することができる。

金融、卸売・小売、運輸、建築、および公共事業といったサービス生産プロセスにおける寄与が低く、2つの期間の技術的ボトルネックになっていたことが窺える。また、財の生産プロセスでは、輸送機械、プラスチック製品、セメント製品、出版、食料品などの寄与が低い。1990-95年においては、財の生産プロセスで寄与の低いものが多いのに対し、1995-2000年では、寄与の低いサービスの生産プロセスが多く観察される。

4. 今後の展開

本研究では詳細な生産プロセスレベルにおける生産性を計測し、技術のリンケージにおける構造変化を観察することで、技術にまつわる経済政策や科学技術政策設計に際して議論するための素材を提供した。それは、非常に情報量が多く、様々な示唆に富んだものである。しかしながら、情報量が多いことは逆にすぐに問題点を抽出できないという欠点にもなる。したがって、比較的早期に問題を発見できるような指標作りも同時に必要である。

また、経済の牽引役やボトルネックになるような技術を抽出したとしても、その原因が何にあるのか、たとえば規制の存在なのか、技術的制約なのかなどが解明されていない。あるいは、どうすればそれらの問題が解消されるのかという点には答えていない。これらに対しては、たとえば液晶など、具体的な生産プロセスや技術を取り上げたケーススタディを実施することが必要であろう。

本研究および上で挙げた2つのテーマは、いずれもこれまでにわが国が経験した結果に基づいた分析である。過去の経験や事例を分析することで将来の政策決定に資する情報を提供することはできるが、これからの施策を考える上では、それとともに将来に実現するであろう技術が、プロダクトあるいはプロセス・イノベーションを引き起こし、生産プロセスの生産性に与える影響を分析する必要もあろう。

² もっとも、生産プロセスそのものが、技術の集合体であり、本研究でのアプローチは必ずしも技術の評価になっていないとの批判もあろうが、さらなる分類の詳細化は今後の課題としたい。

³ 本研究では、1960年から生産性を計測しているが、紙幅の都合上、この2期間の結果を示すのに留める。

表1：静学的マクロ TFP 成長率に対する寄与が低い生産プロセス 50(1990-95年)

1990-95	Domar weight	TFP growth	Contribution
6211-01 金融	0.059	-0.049	-0.0029
6112-01 小売	0.077	-0.013	-0.0010
7122-01 道路貨物輸送	0.025	-0.030	-0.0008
2211-01 プラスチック製品	0.022	-0.024	-0.0005
4112-02 非住宅建築（非木造）	0.043	-0.012	-0.0005
4111-01 住宅建築（木造）	0.028	-0.015	-0.0004
1521-01 織物製衣服	0.011	-0.035	-0.0004
1911-02 印刷・製版・製本	0.016	-0.021	-0.0003
4111-02 住宅建築（非木造）	0.030	-0.011	-0.0003
5111-00 事業用発電	0.029	-0.010	-0.0003
4131-02 河川・下水道・その他の公共事業	0.021	-0.013	-0.0003
1911-01 新聞	0.005	-0.046	-0.0002
6212-02 損害保険	0.007	-0.034	-0.0002
3511-01 乗用車	0.026	-0.008	-0.0002
4121-01 建設補修	0.016	-0.013	-0.0002
1114-01 精穀	0.008	-0.025	-0.0002
4131-01 道路関係公共事業	0.020	-0.010	-0.0002
3021-01 建設・鉱山機械	0.006	-0.034	-0.0002
8515-10 自動車修理	0.014	-0.014	-0.0002
2812-01 建築用金属製品	0.007	-0.025	-0.0002
3311-03 電子計算機付属装置	0.011	-0.016	-0.0002
3541-01 自動車車体	0.004	-0.038	-0.0002
4132-09 その他の土木建設	0.018	-0.009	-0.0002
3029-09 その他の特殊産業用機械	0.005	-0.029	-0.0001
2523-01 セメント製品	0.004	-0.034	-0.0001
3011-02 タービン	0.001	-0.140	-0.0001
1121-02 ビール	0.002	-0.062	-0.0001
1911-03 出版	0.005	-0.027	-0.0001
3611-01 鋼船	0.003	-0.047	-0.0001
2032-01 脂肪族中間物	0.004	-0.032	-0.0001
2611-03 粗鋼（転炉）	0.006	-0.020	-0.0001
1711-03 金属製家具・装備品	0.002	-0.050	-0.0001
3521-01 トラック・バス・その他の自動車	0.008	-0.014	-0.0001
2319-09 その他のゴム製品	0.004	-0.026	-0.0001
8516-10 機械修理	0.013	-0.009	-0.0001
1611-02 合板	0.003	-0.039	-0.0001
2899-02 金属製容器及び製缶板金製品	0.005	-0.022	-0.0001
0113-00 野菜	0.006	-0.019	-0.0001
3331-01 電子応用装置	0.005	-0.022	-0.0001
1141-01 たばこ	0.002	-0.050	-0.0001
8611-04 遊戯場	0.016	-0.007	-0.0001
3031-09 その他の一般機械器具及び部品	0.003	-0.036	-0.0001
1112-03 酪農品	0.005	-0.022	-0.0001
0111-01 米	0.007	-0.015	-0.0001
2599-09 その他の窯業・土石製品	0.003	-0.037	-0.0001
3019-01 ポンプ及び圧縮機	0.004	-0.022	-0.0001
8612-01 一般飲食店（除喫茶店）	0.027	-0.003	-0.0001
3411-02 回転電気機械	0.007	-0.013	-0.0001
3019-09 その他の一般産業機械及び装置	0.005	-0.018	-0.0001
1711-01 木製家具・装備品	0.005	-0.018	-0.0001

表 2：静学的マクロ TFP 成長率に対する寄与が低い生産プロセス 50(1995-2000 年)

1995-2000	Domar weight	TFP growth	Contribution
6111-01 卸売	0.121	-0.009	-0.0010
6212-01 生命保険	0.014	-0.055	-0.0008
6112-01 小売	0.075	-0.006	-0.0005
8519-09 その他の対事業所サービス	0.026	-0.018	-0.0005
4132-09 その他の土木建設	0.015	-0.012	-0.0002
4111-01 住宅建築（木造）	0.026	-0.007	-0.0002
8514-01 貸自動車業	0.003	-0.068	-0.0002
8613-01 旅館・その他の宿泊所	0.015	-0.011	-0.0002
7321-02 民間放送	0.004	-0.038	-0.0002
5111-04 自家発電	0.002	-0.088	-0.0002
4131-02 河川・下水道・その他の公共事業	0.021	-0.008	-0.0002
4131-01 道路関係公共事業	0.020	-0.008	-0.0002
3541-01 自動車車体	0.004	-0.039	-0.0001
8516-10 機械修理	0.012	-0.012	-0.0001
8612-01 一般飲食店（除喫茶店）	0.030	-0.005	-0.0001
4112-02 非住宅建築（非木造）	0.028	-0.005	-0.0001
5211-01 上水道・簡易水道	0.006	-0.020	-0.0001
8619-06 冠婚葬祭業	0.004	-0.027	-0.0001
9000-00 分類不明	0.010	-0.012	-0.0001
0113-00 野菜	0.005	-0.023	-0.0001
7111-01 鉄道旅客輸送	0.012	-0.009	-0.0001
2072-01 塗料	0.002	-0.048	-0.0001
4111-02 住宅建築（非木造）	0.023	-0.004	-0.0001
1911-02 印刷・製版・製本	0.015	-0.006	-0.0001
8211-01 学校教育（国公立）★★	0.032	-0.002	-0.0001
8619-08 個人教授所	0.005	-0.012	-0.0001
4132-01 鉄道軌道建設	0.004	-0.016	-0.0001
2522-01 生コンクリート	0.004	-0.016	-0.0001
8511-01 広告	0.016	-0.004	-0.0001
8612-03 遊興飲食店	0.014	-0.004	-0.0001
4131-03 農林関係公共事業	0.006	-0.009	-0.0001
1113-01 冷凍魚介類	0.004	-0.015	-0.0001
2079-09 その他の化学最終製品	0.003	-0.016	-0.0001
2523-01 セメント製品	0.004	-0.014	-0.0001
3021-01 建設・鉱山機械	0.004	-0.012	-0.0001
1119-09 その他の食料品	0.003	-0.018	0.0000
7121-02 ハイヤー・タクシー	0.005	-0.010	0.0000
3029-09 その他の特殊産業用機械	0.004	-0.012	0.0000
2211-01 プラスチック製品	0.021	-0.002	0.0000
8515-10 自動車修理	0.014	-0.004	0.0000
8611-04 遊戯場	0.011	-0.004	0.0000
1911-03 出版	0.005	-0.010	0.0000
8619-03 美容業	0.004	-0.011	0.0000
2074-01 農薬	0.001	-0.051	0.0000
3019-09 その他の一般産業機械及び装置	0.004	-0.010	0.0000
2812-01 建築用金属製品	0.006	-0.007	0.0000
4121-01 建設補修	0.017	-0.002	0.0000
1131-01 飼料	0.002	-0.020	0.0000
2721-01 電線・ケーブル	0.002	-0.018	0.0000
3031-02 ベアリング	0.002	-0.021	0.0000

1. 問題の所在

1.1. 技術システムとイノベーション

本研究の最終的なねらいは、技術システムにおけるイノベーションの相互作用を探ることである。図 1 は、このアイデアを模式的に表している。すなわち、ある産業におけるイノベーションが、要素技術のイノベーションと、どのような関わりをもっているのかを明らかにすることである。その際、イノベーションをプロセス・イノベーション（同じ製品がより安くできるようなイノベーション）とプロダクト・イノベーション（製品自体がより望ましくなるようなイノベーション）の二つの要素に分けて考察することによって、分析をより構造的に行うことが可能となる。これにより、たとえばイノベーションが社会全体の余暇を増大させるのか、生活水準の向上に資するのかといった分析が可能となるだろう。

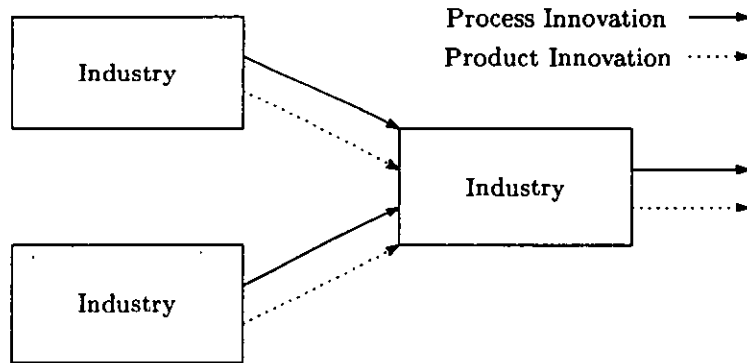


図 1：イノベーションの相互作用

1.2. プロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーション

図 2 は、ある産業で生産されている財の品質 Q と、その単位費用 P を表している。ある時点 $t=0$ では、点 0 の組合せの品質と費用の財が生産されるが、その時点でも品質の高い財はより高い費用で生産することが可能であり、技術的には T_0 の組合せの財の生産が可能である。

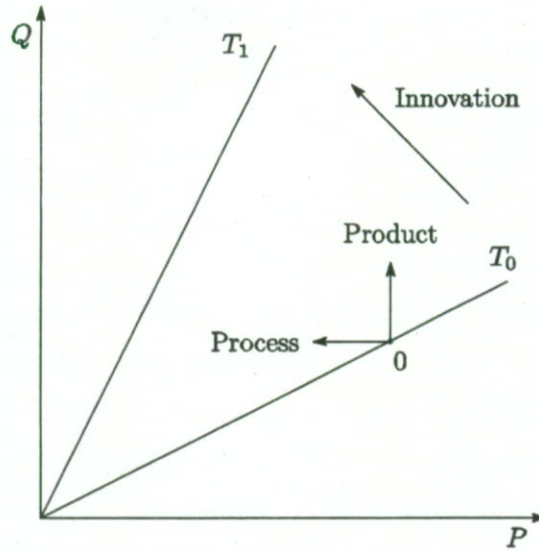


図2：プロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーション

イノベーションとは、 T_0 が T_1 へとシフトすることである。つまり、イノベーションによって、同じ品質でも価格が下がる、もしくは同じ価格でも品質が向上する。とくに前者はプロセス・イノベーションと呼ばれている。一方、プロダクト・イノベーションは、本研究においては、これを価格一定下の品質向上と定義することにする。イノベーションの効果を計測したり、因果関係をモデル化しようとする場合、どれほどのイノベーションがなされたのかは、その効果、したがって需要側の視点から分析を行うことが有効である。本研究では、生産側はどの品質の財を生産する場合でも完全競争を仮定し、それと整合的な収穫一定を仮定する。これにより、分析対象を専ら需要曲線に絞ることができる。

2. 評価手法

代表的消費者は、財から受けるサービス $S \equiv QX$ (但し X は数量、 Q は品質) と、価格基準の合成財の消費量 Y から効用を得る。予算制約を B 、財の単価を P とするとモデルを次のように表せる。

$$\max_{X,Y} U(S,Y) \text{ s.t. } B = PX + Y, S = QX, Q = f(P)$$

ここに、 $f(P)$ は、 $t=0$ での技術 T_0 で、価格 P で可能な品質 Q を表す関数である。ここでは、図2のごとく、線形関数 $f(P) = cP$ で表されるものと仮定する。これより、効用最大化の状態において、次項を得る。

$$\frac{dX}{dP} = \frac{U_S cX - U_Y X + U_S X P \frac{dc}{dP}}{U_S cP - U_Y P} \quad (1)$$

・イノベーションがない場合 図 2で生産プロセスが T_0 上を移動する、つまり $dc/dP=0$ である。このとき、式(1)は $dX/dP=-X/P$ となり、この枠組みにおいて、イノベーションがない場合には、需要の価格弾力性が1になる。これを図 3の D_0 に示す。

・イノベーションがある場合 状態が T_0 よりも左上に移動するから、 $dc/dP>0$ 、つまり、価格 P が微少に増加したとき T_0 の傾き c が増加する（あるいは反対に P が減少したとき c も減少する）。式(1)より、この場合、需要の価格弾力性は、 $\eta>1$ となる。

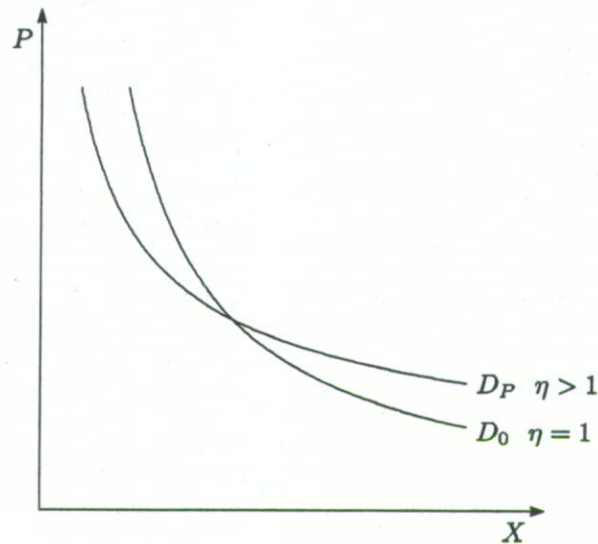


図3：イノベーションと需要曲線

一方、品質 Q を一定とした需要曲線の価格弾力性は実証的に計測可能である。つまり、プロセス・イノベーションだけによる需要曲線 D_P を描くことができる。また、 $t=1$ での（プロセスとプロダクト二つのイノベーションの混ざった）価格と消費量 (X_1, P_1) も計測できる。これらの情報を用いて、二つのイノベーションの量的比較ができる（図 4 参照）。

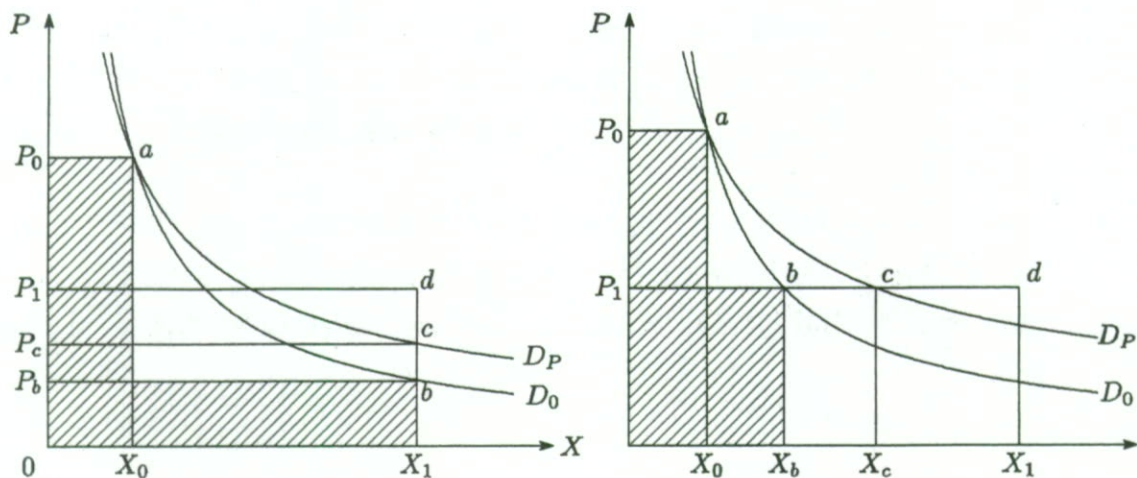


図4：プロセスとプロダクト・イノベーションの計測

プロセスとプロダクト両方のイノベーションが混合した効果として、 $t=1$ での価格と消費量(X_1, P_1)を用いて、このときの技術 T_1 を一定として、それ以上のイノベーションがない需要曲線 D_1 を考える(図5参照)。最も保守的な指標として(X_Q, P_Q)を通る弾力性 η_1^* を計測する。これは次式による。

$$\eta_1^* = \frac{\ln X_0 - \ln X_Q}{\ln P_Q - \ln P_0}$$

このようなイノベーションの指標は、プロセス・イノベーションのみによる弾力性 η と比較可能である。蓋し、イノベーションの計測を、弾力性を用いて分析することが本研究の特徴である。

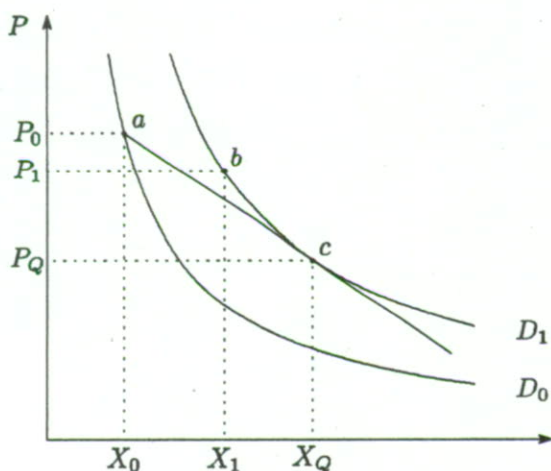


図5：弾力性によるイノベーションの計測

3. 今後の展開

上記の枠組みで、イノベーションの計測を行うにあたり、最終的にはすべての財について、(品質一定の) 需要の価格弾力性を知る必要があるが、まず、上記の枠組みの正当性を検証するためにも、対象とする財を絞って、各イノベーションの状況と需要の価格弾力性の関係を調査してみる必要がある。その上で、弾力性の文献調査や二時点産業連関表から得られる数量と価格を用いて、定量的な分析を行う必要がある。

大学の研究開発活動が産業技術革新に及ぼす効果に関する研究

日本大学 権 赫旭

1. 問題の所在

大学は経済成長と技術革新において欠かせない存在であることは多くの研究により認められてきた。大学は新しい知識の供給源として経済成長に寄与するだけでなく、新たな人材の供給源としても大きく寄与しているといわれてきた(Jaffe 1989, Mansfield 1991, Lucas1988)。大学の研究活動から生まれる新しい知識や理論は学術論文として発表され、社会全体の技術知識ストックを増やし、教育という手段を通じて、学生に体化されることで、社会全体の人的資本の蓄積にも寄与している。したがって、大学の研究活動が産業へ波及する経路としては、新しく開発された技術知識から得られる利益を開発者が専有できないことで起こるスピルオーバーによるものと、新たな知識や理論によって教育された人によるものが考えられる。概念的には大学の研究活動により蓄積された技術知識が知識スピルオーバーと人を通じて産業界に波及するといえるが、実際にそれを計測することは非常に難しいために、大学の研究活動から生まれる知識や人材がどのように産業の技術革新に効果を与えるかを同時に評価した論文は少ない。ここでは、日本の大学が知識や人材供給を通じて、産業の技術革新にどれくらい寄与したかを分析する。

2. 評価手法およびデータ

知識スピルオーバーに関しては、最近、特許や学術論文のデータベース化が進んでいることもあり、企業レベルで細かく測定することができる。学術論文の中で企業の研究者と大学教授が共同に研究した論文を調べる(Cockburn and Henderson 1998, Zucker et al. 1998)ことと、企業の特許による学術論文の引用を調べ、指標化することがよく利用される方法である。大学の卒業生の産業界への移動に関しては企業レベルで把握することはほぼ不可能であるため、産業レベルの分析でよく利用される。

ここでは、特許による学術論文の引用データと企業レベルの研究開発、売上高、資本ストック、従業者数などのデータを利用して、学術論文の引用が企業の産出に与える効果を分析する。さらに、日本の大学卒業生がどの産業に就職したかを表す就職マトリックスと産業別生産性データを利用して、人材供給を通じた大学の研究活動の波及効果を明らかにする。

3. 結果および考察

図1をみると、日本の特許取得者が学術論文を引用した件数が最近急増していることが分かる。大学の研究の引用が企業の産出に及ぼす効果の推計結果は表1に示されている。学術論文の引用の産出に対する弾力性は統計的に正で有意であることが分かる。

表2では、大学の専攻別卒業生がどの産業に多く進出したかを示している。自然科学、工学を中心とした卒業生が主に製造業に就職していることがわかる。表3では、卒業生に体化された形で、大学から産業界へ移転される効果を回帰分析した結果が示されている。表から、73年から85年間の日本経済の成長期には正の有意な効果を持ったが、日本経済の低迷期においては負で有意な効果を示している。これらの結果から、日本の大学は経済成長期には新しい人材供給で日本経済に貢献し、持続的な成長力が求められる最近では、知識の供給源として機能しているといえる。しかし、表1で示されたように、学術研究の寄与度は他の変数に比べて小さいため、大学の研究能力を高めるような政策が必要であろう。

4. 今後の展開

日本の大学が産業の技術革新に寄与することは特許の引用や卒業生の供給だけではなく、共同研究、委託研究や大学教授による非公式的な関係などを通じても起こりうる。したがって、大学の研究活動の効果を正確に評価するためには様々な経路に関する包括的な計測が必要であり、より正確なデータの整備が要求される。

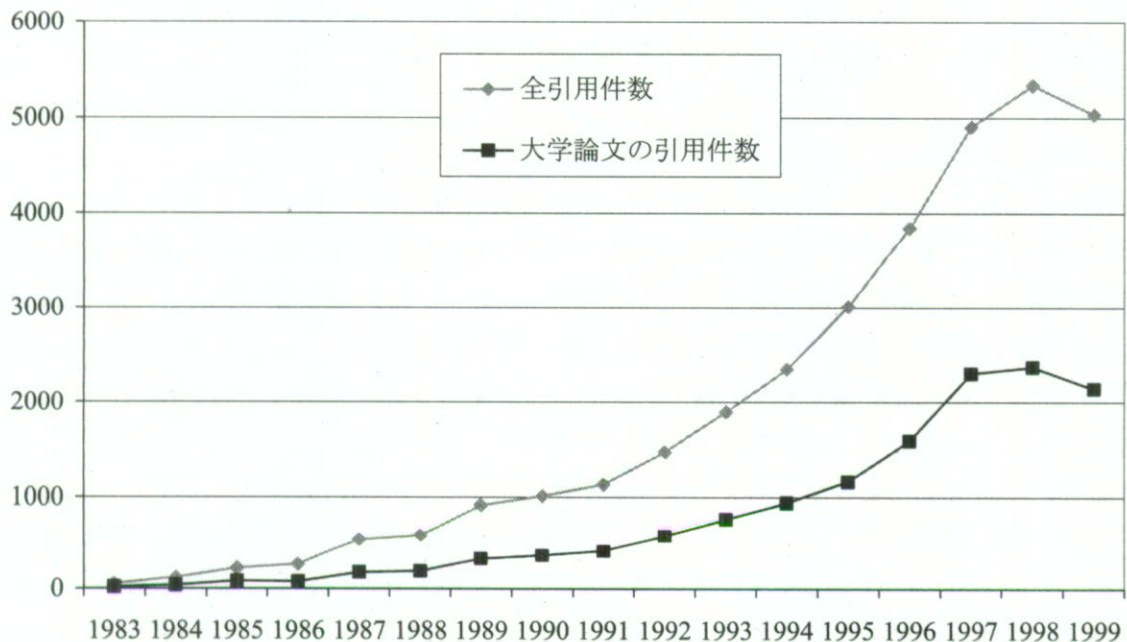


図1：日本企業の特許による学術論文の引用件数

出所) Branstetter and Kwon (2004)

表 1：学術論文引用の生産性への効果

固定効果モデル 被説明変数：実質売上高				
変数	(1)	(2)	(3)	(4)
Science Citations t-1	.0189 (0.0044)			
Science Citations t-2		0.0172 (0.0450)		
Science Citations t-3			0.0158 (0.0044)	
Science Citations t-4				0.0158 (0.0045)
研究開発	0.07 (0.0092)	0.05 (0.0094)	0.0588 (0.0095)	0.084 (0.0098)
特許	0.0178 (0.0058)	0.0152 (0.0059)	0.0169 (0.0059)	0.0206 (0.0059)
資本	0.1863 (0.0168)	0.2208 (0.0175)	0.2017 (0.0173)	0.1844 (0.0175)
労働	0.424 (0.0261)	0.4134 (0.0271)	0.4216 (0.0268)	0.3773 (0.0273)
観測値	3,281	3,235	3,178	2,948
R-squared	0.9048	0.9105	0.9089	0.9104

表 2：産業別大学専攻別卒業生の割合: 1973-1998 (%)

産業	人文社会	自然科学	工学	農学	医療	家政学	教育	その他
食料品	2.5	2.1	1.2	15.9	1.5	0.5	5.5	0.9
繊維	1.5	0.7	1.1	0.6	0.2	0.4	3.3	2.7
出版・印刷	2.2	1.3	0.8	0.5	0.1	1.1	1.2	3.7
化学	2.2	9.0	5.1	7.2	22.9	0.5	2.1	1.1
石油・石炭	0.3	0.4	0.4	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1
鉄鋼	0.5	0.5	1.2	0.2	0.0	0.1	0.3	0.1
非鉄金属	0.3	0.4	1.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2
組立金属	0.7	0.6	2.3	0.3	0.0	0.1	0.3	0.4
一般機械	1.4	2.1	7.4	1.3	0.1	0.4	0.8	0.9
電気機械	2.9	11.1	17.4	0.6	0.2	0.9	1.8	2.4
輸送用機械	1.3	1.3	5.7	0.5	0.1	0.4	0.6	1.2
精密機械	0.7	2.9	3.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.7
製造業	19.1	35.7	51.4	30.3	25.6	5.6	18.4	20.1

表3：大学からのスピルオーバーの産業生産性への効果

被説明変数：全要素生産性

	1973-1998		1973-1985		1986-1998	
定数項	0.011	(4.83) ***	0.006	(1.70) *	-0.019	(-8.96) ***
産業の研究開発	0.281	(3.08) ***	0.150	(1.29)	0.307	(4.12) ***
産業間の研究開発 のレント・スピルオーバー	-1.208	(-1.60)	1.880	(1.42)	-1.602	(-2.93) ***
産業間の研究開発 の知識・スピルオーバー	-0.001	(-1.50)	0.055	(1.86) *	-0.011	(-2.49) **
大学からのスピルオーバー (人を通じて)	-0.206	(-0.97)	0.572	(1.64) *	-0.373	(-2.27) **
観測値	312		156		156	

注) 括弧内はt値である。***, **, *は1%、5%、10%の有意性を表す。

アジア開発途上国での環境改善プロセス導入における 経済性、環境影響評価基盤の構築

東京大学 酒井裕司

1. 問題の所在

近年、中国をはじめとするアジア地域の開発途上国では、急速な経済発展及び工業化に伴い環境問題が深刻化している。今後このような地域における持続的発展を達成するためには、経済と環境の両立の達成可能な技術を確立することが要求される。例えば中国では、2006年3月に全国人民代表大会で承認された第十一次五ヵ年計画にて農業改革、産業の発展、環境問題への対応等を主要課題として取り上げ、環境破壊や都市部と農村部などの所得格差拡大といったような構造問題の解決を目指しており、持続的成長の実現に全力を挙げている。また、中国を含めたアジア地域をはじめとする開発途上国においては廃棄物などによる水質、土壌、大気汚染などの環境汚染が深刻化している。そして、そのような途上国における環境破壊は、都市、農村、森林などの自然環境との共生関係の崩壊をもたらし、更に悪化すると考えられる(図1)。そこで、今後はこれらの悪循環のサイクルを断ち切るとともに経済成長や環境浄化へ繋がる技術の確立が必要になってくると考えられる。

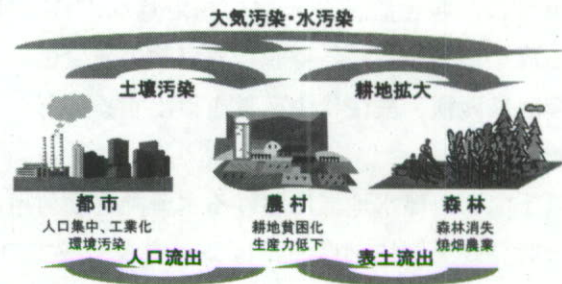


図1: 開発途上国における環境汚染の連鎖サイクル

このようなコンセプトのもと、これまで中国にて大気、水、土壌などの環境改善プロセスの導入及び評価のための研究を行ってきた。具体的には、大気汚染防止のための脱硫プロセスからの廃棄物による砂漠化土壌改良の研究と、干ばつや渇水地域への水資源の有効利用プロセスの開発や構築についての研究である。

本稿では、上記二つの環境改善プロセスに対して、現場での研究における評価手法及び結果、そして今後の先進国における環境浄化技術の移転や技術導入における政策的な視点からの評価の適用可能性を検討するために、これまで構築してきた統合的評価基盤と導入シナリオ結果について記す。

2. 評価手法およびデータ

【脱硫廃棄物による砂漠化土壌改良に関する研究】

中国への脱硫プロセス導入により脱硫廃棄物を砂漠化土壌改良剤として利用し(図2)、本プロセス導入を総合的に評価するために、経済モデル、土壌改良モデル、大気拡散モデル、患者発生モデルのサブモデルを統合して統合評価基盤を構築してきた(図3)。本稿では、その中でも経済モデルと土壌改良モデルの統合モデルによる脱硫プロセスを導入した

場合の評価について説明する。経済モデルは中国全土における産業連関表をベースに作成されており、脱硫プロセス導入時には、経済変数として平均賃金、農業労働者数、非農業労働者数、名目GDP、実質GDP、名目消費、実質消費、実質投資、実質金利、名目金利、GDPデフレーター、複合財価格、国内財価格、電力国内価格、脱硫装置以外の実質投資、脱硫装置建設投資が、更に、部門別(産業22部門、生活消費)及び省別CO₂、SO₂排出量が経済モデルより算出され、また、土壤改良モデルは1996年より中国東北部にて行なってきた脱硫廃棄物による砂漠化土壤改良試験データ(農産物の収穫量データ、改良に使用した各種脱硫廃棄物の施用量など)を用いて構築しており、各種脱硫廃棄物の発生量、土壤改良面積、農産物生産量を算出することが可能である。

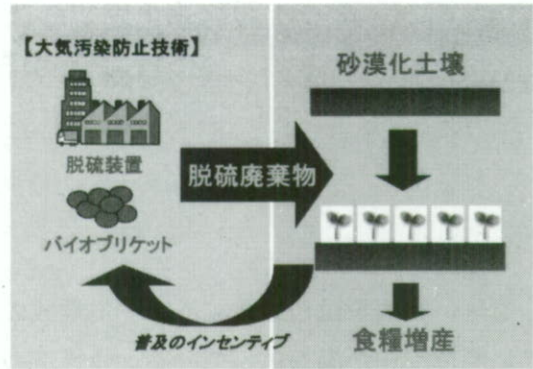


図2：脱硫廃棄物による砂漠化土壤改良プロセス

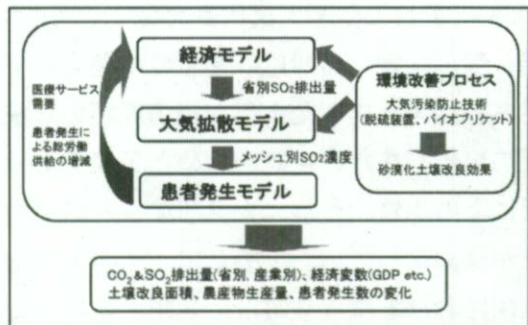


図3：脱硫プロセス導入時の統合評価基盤

【干ばつ、渇水地域における水資源有効利用に関する研究】

開発途上国における干ばつ、渇水地域での未開発地域における水資源有効利用システム提案として、小規模分散型の水処理装置導入に伴う循環利用の提案を行なってきた(図4)。

これらのシステム評価のために、既存のシミュレーションモデルを用いて水資源循環利用による利用水量の最小化を検討している。その際には、生活、農業、工業など各場所での要求水量、要求水質を設定し、更に各水処理装置の種類の設定及び処理能力を設定する。現在、導入地域として中国撫順市の特定地域を選択し、生活廃水、農業廃水、工業廃水に対して膜を用いた小規模分散型の水処理技術による水再利用を想定した検討を行なっている。

更に、現地において生活廃水処理のために、まだ検討されている例の少ない膜分離活性汚泥法(MBR)を用いて連続運転評価を行なっている。

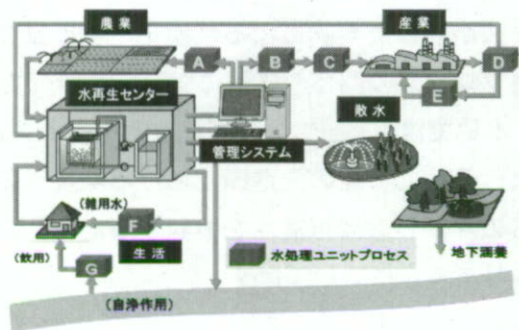


図4：未開発地域への水処理技術導入例

3. 結果および考察

干ばつ、渇水地域における水資源有効利用に関する研究はシステム構築が完成しつつあるが、シミュレーション結果については現在検討中であるので、脱硫廃棄物による砂漠化土壤改良に関する研究に関してのみ記述する。これまで湿式脱硫プロセス(脱硫率：95%、

発電所稼働率：63%)を中国全土に大規模石炭火力発電所から段階的に導入した場合の経済性、環境影響、土壌改良効果について評価した結果を示すと、導入率の増加に伴い、GDP増加、電力価格の増加が確認でき、部門別では、主に、電力・蒸気・熱水生産供給にて削減を確認でき、100%導入時には92%と大幅な削減を確認できた。また、省別におけるSO₂削減の特徴としては、もともとSO₂排出量が多い山東省、四川省、江蘇省などにて大幅な削減を確認できた。更に、土壌改良効果においては100%導入時において、中国全土の約3.1%の砂漠化土壌を改良することが出来、新規改良土壌にてトウモロコシや米の生産を行なった場合には、それぞれ全国の収穫量の約2.6%、約9.6%を生産可能な量であることも確認できた。

以上、湿式脱硫プロセス導入の例を用いて示したが、中国での脱硫廃棄物利用による砂漠化土壌改良まで含めたオリジナルな環境改善プロセスを経済性かつ環境影響を評価することが出来た。

4. 今後の展開

今回の調査にて、これまで中国において行なってきた具体的な環境改善プロセス導入における評価手法を提示しシミュレーション結果について示した。今後はこのような環境改善プロセスをより統合的な視点で評価することが出来るように、SO₂などの汚染物質の大気における影響や人体への影響などを組み込んだモデルの構築についてもより詳細に検討する必要があると思われる。更に、そのような健康影響の視点からはよりローカルなエリアでの評価を行う必要があるため、中国全土だけでなく、瀋陽市や天津市などの地域にて基盤構築及びシミュレーションを検討する必要があるだろう。また、開発途上国における小規模分散型の水処理装置導入の評価については、現在行なっている水資源有効利用のための循環型利用における使用水量の最小化シミュレーションのみならず、小規模分散型システム導入と大規模な処理施設をある特定地域に導入した場合の経済的および環境影響評価、更に、健康影響評価も行なうことが可能な評価基盤を、産業連関表を用いた経済モデルをベースとして構築することも必要であろう。更に、近年も増加している開発途上国への大気汚染や水処理などの環境浄化システム導入において、このような評価基盤の構築は非常に重要な意味を持ち、更に、乾燥地における土壌改良においては植林などを考慮したCDM(クリーン開発メカニズム)における視点などを取り入れた評価基盤も構築する必要があるであろう。

II. 論文集

わが国の生産プロセスレベルにおける生産性分析¹

Productivity Analysis at Activity-level in Japan

中野 諭²

1. はじめに

今後のわが国の成長戦略を考えていくうえで、少子高齢化によって労働力の増加が見込めないことや、資本の蓄積も大幅には進展しないと予想されることを鑑みれば、マクロ経済の生産性上昇を推進することが必要だという議論がある。IT 投資など資本蓄積が進む余地が残されているとはいえ、マクロの生産性上昇はわが国の経済成長にとって不可欠と言えよう。

マクロの生産性を改善するには、各産業の生産性を改善すれば良いわけであるが、もっと細分化すれば企業や事業所レベルでの生産性改善がマクロの生産性改善に寄与する。さらに詳細に考えるならば、生産プロセスあるいは技術そのもののパフォーマンスがマクロの生産性に影響を与える。したがって、技術のパフォーマンスを計測し、それがマクロの生産性にどの程度影響を与えるかを評価すれば、科学技術政策とマクロ生産性を結ぶ1つの材料となろう。

しかし、ある1つの技術を抽出し、その経済的なパフォーマンスを計測することは非常に困難である。なぜなら、現代社会は、無数に存在する技術に基づく複雑かつ動的な構造を有しており、個々の技術は相互に関連しているからである。どの技術が経済成長の牽引役になっているのか、あるいはボトルネックになっているのかを判別することは難しい。

このような背景のもと、本研究では、相互に関連している技術のパフォーマンスを生産性という指標で評価し、それがマクロの生産性改善にどの程度寄与するかどうかで、わが国の経済成長のボトルネックを抽出しようと試みた。

レオンチェフによって提案された投入産出フレームワークの重要な側面の1つは、社会の技術的特性に基づく経済の構造的リンケージを描写する分析ツールを提供することである。本研究は、経済の相互依存体系を表し、現在入手可能でもっとも分類が詳細なデータである、『産業連関表』の基本分類データをもちい、生産プロセスレベルでの生産性の計測を行った。また、生産性の観点から技術のリンケージにおける構造変化を観察することによって、わが国経済の技術的ボトルネックを解明した。

従来の生産性分析は、産業、企業、あるいは事業所レベルでの分析に留まり、技術のパフォーマンスの計測に接近することが困難であった。それに対し、本研究では、分析

¹ 本研究は、内閣府経済社会総合研究所：黒田昌裕所長との共同研究の成果の一部である。

² 慶應義塾大学グローバルセキュリティ研究所/産業研究所、Address: 〒108-8345 東京都港区三田 2-15-45、TEL:03-3453-4511(ext.23748, 23541)、FAX:03-5427-1946、E-mail:nakano@sanken.keio.ac.jp

レベルをアクティビティ、つまり生産プロセスまで掘り下げることで、より技術に近い概念における生産性の計測を行っている³。

本論文の構成は次の通りである。次節では、分析の手法とデータについて解説している。また、第3節では分析の結果について述べ、第4節で研究の今後の方向性について検討している。

2. 評価手法およびデータ⁴

生産プロセスの経済的パフォーマンスを計測する手法として、本研究では伝統的な静学的 TFP(全要素生産性)成長率を計測している。価格面から捉えた第j 経済活動における静学的 TFP の成長率は、次式によって求められる。ただし、 p_j 、 p_j^L 、 p_j^K は、それぞれ j 財の価格、第 j 経済活動における労働の価格、および資本の価格を表す。 X_j は第 j 経済活動の産出である。また、 X_{ij} 、 L_j 、 K_j は、それぞれ第 j 経済活動における、第 i 財、労働、および資本の投入を示す。

$$\frac{\dot{T}_j}{T_j} = \frac{\dot{X}_j}{X_j} - \sum_i \frac{p_i X_{ij}}{p_j X_j} \frac{\dot{X}_{ij}}{X_{ij}} - \frac{p_j^L L_j}{p_j X_j L_j} \frac{\dot{L}_j}{L_j} - \frac{p_j^K K_j}{p_j X_j K_j} \frac{\dot{K}_j}{K_j}$$

また、これに加えて、ユニット・ストラクチャーの概念を導入した静学的ユニット TFP 成長率も計測している。ある最終需要が発生したとき、当該財の生産が誘発されるだけでなく、それにともなって様々な原材料の生産も誘発される。ユニット・ストラクチャー U_i とは、ある財 i の最終需要 1 単位($f_{(i)}$)を生産するために、直接・間接的に必要となるすべての投入のバスケットである。ただし、 $f_{(i)}$ は、第 i 要素が 1 で、他のすべての要素が 0 の縦ベクトルである。また、 A_i は投入係数行列、 B_i^L および B_i^K はそれぞれ労働投入係数ベクトル、資本投入係数ベクトルを示す。

$$U_i = \begin{bmatrix} X_i^* \\ L_i^* \\ K_i^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_i \left\{ (I - A_i)^{-1} f_{(i)} \right\} \\ B_i^L \left\{ (I - A_i)^{-1} f_{(i)} \right\} \\ B_i^K \left\{ (I - A_i)^{-1} f_{(i)} \right\} \end{bmatrix}$$

したがって、静学的ユニット TFP 成長率は、当該財の生産におけるパフォーマンス(伝統的な静学 TFP 成長率)だけでなく、それと連鎖するさまざまな原材料の生産プロセス

³ もっとも、生産プロセスそのものが、技術の集合体であり、本研究でのアプローチは必ずしも技術の評価になっていないとの批判もあろうが、さらなる分類の詳細化は今後の課題としたい。

⁴ 本研究における TFP 成長率の算出方法は、Kuroda and Nomura (2004)に依っている。

のパフォーマンスを加味した指標である。第j 経済活動における静学的ユニット TFP 成長率は、次のように表される。

$$\frac{\dot{T}_i^U}{T_i^U} = -\sum_j \frac{p_j^L L_j^*}{p_i L_j} \frac{\dot{L}_j}{L_j} - \sum_j \frac{p_j^K K_j^*}{p_i K_j} \frac{\dot{K}_j}{K_j} = \sum_j \frac{p_j X_j^*}{p_i T_j} \frac{\dot{T}_j}{T_j}$$

これら2つのTFP成長率によって生産プロセスの経済的パフォーマンスの計測が可能になったが、これらを概観するだけでは経済成長の牽引役やボトルネックを抽出することはできない。そこで、わが国の産業構造と照らして、さほどシェアの大きくないプロセスでパフォーマンスが非常に良かった、あるいは逆に悪かったとしてわが国経済にそれほど大きな影響は与えない。そこで、各生産プロセスのTFP成長率をドーマー・ウェイトによって集計した静学的マクロTFP成長率を計測し、それに対する各生産プロセスの寄与を観察することで、経済の技術的ボトルネックの抽出を行った。静学的マクロTFP成長率は、次式に示されるように、財別の静学的TFP成長率からも静学的ユニットTFP成長率からも導出することができる。特に、マクロの名目付加価値に占める各生産活動の名目産出額を、ドーマー・ウェイトという。

$$\frac{\dot{T}^M}{T^M} = \sum_j \frac{p_j X_j}{\text{pf}} \frac{\dot{T}_j}{T_j} = \sum_i \frac{p_i f_i}{\text{pf}} \frac{\dot{T}_i^U}{T_i^U}, \quad \text{Domar's Weight: } \frac{p_j X_j}{\text{pf}}$$

また、生産プロセスの静学的TFP成長率が1%変化したとき、静学的マクロTFP成長率がどの程度変化するか、つまり静学的TFP成長率の弾性値(η_j)を観察することによっても、わが国経済に大きな影響を与える部門を発見できる⁵。静学的TFP成長率の弾性値が大きな生産プロセスのTFP成長率を改善すれば、それだけわが国経済成長に大きく寄与する。

$$\eta_j = \frac{\partial \ln(\dot{T}^M / T^M)}{\partial \ln(\dot{T}_j / T_j)}$$

もっとも詳細な分類のもとで経済の相互依存体系を表現している統計データは、『産業連関表』である。本研究では、『昭和35-40-45年接続産業連関表』から『平成2-

⁵ 生産プロセスの静学的TFP成長率が負の場合は、その絶対値が1%変化した結果、つまり正值で1%変化した結果に静学的マクロTFP成長率がどの程度変化するかを計算している。

『7-12年産業連関表』まで5年ごとに総務省から公表される7つの接続産業連関表を基本分類レベルで使用している。基本分類は、約400の財・サービスの生産プロセスで構成されており、詳細な分析が可能である。財・サービスの投入産出構造、および財・サービスの価格の情報は、『接続産業連関表』に依っている。また、資本および労働の価格データは、KDB(慶應義塾大学産業研究所データベース)を活用している⁶。

3. 結果⁷

まず、3時点間のTFP成長率の変化を図にまとめることで、前の2時点よりも後の2時点の方が改善、あるいは悪化している生産プロセスを視覚的に捉えてみよう。もっとも望ましい状況は、伝統的TFP成長率およびユニットTFP成長率がともに正で、なおかつユニットTFP成長率が伝統的TFP成長率を上回っているケース(図1の「6」)である。これは、当該生産プロセスの生産性が正であるだけでなく、それに連鎖する生産性プロセスの生産性も正である状況を示す。逆に「1」がもっとも望ましくない状況である。これは、当該生産プロセスの生産性が負であるだけでなく、連鎖する生産プロセスの生産性も負である状況である。

したがって、図1において1985-1990年で数字の小さかった生産プロセスが、1990-1995年では大きくなっていけば、生産性が改善されたと判断できる。図1を見ると、1985-1990年では「1」であったが、1990-1995年には「6」になったプロセスが4あったことを示している。数字が左下半分に集中しており、これは1985-1990年に比べ、1990-1995年では生産性が悪化しているプロセスが多いことを示している。図2は、同じ図を1990-1995年および1995-2000年の2期間で見たものであるが、図1と違って数字が右上半分に集中しており、これは1990-1995年に比べ、1995-2000年では生産性が改善しているプロセスが多いことを示している。

表1および2は、1990-95年および1995-2000年における生産プロセス別のドーマー・ウェイト、静学的TFP成長率、および静学的マクロTFP成長率変への寄与(前者2つの積)を、寄与の低い方から50プロセスだけ抽出して示したものである。この表に示される生産プロセスがそれぞれの期間において、わが国の経済の技術的ボトルネックになっていたプロセスであったと解釈することができる。金融、卸売・小売、運輸、土木・建築、および公共事業といったサービス生産プロセスにおける寄与が低く、2つの期間の技術的ボトルネックになっていたことが窺える。また、財の生産プロセスでは、輸送機械、プラスチック製品、セメント製品、出版、食料品などの寄与が低い。1990-95年においては、財の生産プロセスで寄与の低いものが多いのに対し、1995-2000年では、寄与の低いサービスの生産プロセスが多く観察される。

⁶ KDBに関しては、慶應義塾大学商学部新保一成教授からデータを提供していただいた。ここに記して感謝したい。なお、KDBの基本的な構造については、黒田他(1997)をご覧ください。

⁷ 本研究では、1960年から生産性を計測しているが、紙幅の都合上、一部の期間における結果を示すのに留める。

表3は、1990-95年および1995-2000年における静的マクロ TFP 成長率の生産プロセス別静的 TFP 成長率弾性値を示している。どちらの期間においても、金融、生命保険、物品賃貸業、小売・卸売、電気通信、運輸、および土木・建築などサービス生産プロセスの弾性値が大きい。また、財の生産プロセスについては、集積回路、その他の電子製品、携帯電話機、パーソナルコンピュータ、電子計算機本体、ビデオ機器、民生用電気機器、電子計算機付属装置などの電子・電気機械や乗用車、自動車車体などの輸送機械の弾性値が大きい。表1や表2において寄与が低く、表3で弾性値が高い生産プロセスについては、ボトルネック解消によるマクロ TFP 成長率改善のポテンシャルが大きいと言えよう。たとえば、ここで挙げた各種サービスや輸送機械、プラスチック製品などがそれに該当する。

4. 今後の展開

本研究では詳細な生産プロセスレベルにおける生産性を計測し、技術のリンケージにおける構造変化を観察することで、技術にまつわる経済政策や科学技術政策設計に際して議論するための素材を提供した。それは、非常に情報量が多く、様々な示唆に富んだものである。しかしながら、情報量が多いことは逆にすぐに問題点を抽出できないという欠点にもなる。したがって、比較的早期に問題を発見できるような指標作りも同時に必要である。

また、経済の牽引役やボトルネックになるような技術を抽出したとしても、その原因が何にあるのか、たとえば規制の存在なのか、技術的制約なのかなどが解明されていない。あるいは、どうすればそれらの問題が解消されるのかという点には答えていない。これらに対しては、たとえば液晶(図3)など、具体的な生産プロセスや技術を取り上げたケーススタディを実施することが必要であろう。

本研究および上で挙げた2つのテーマは、いずれもこれまでにわが国が経験した結果に基づいた分析である。過去の経験や事例を分析することで将来の政策決定に資する情報を提供することはできるが、これからの施策を考える上では、それとともに将来に実現するであろう技術が、プロダクトあるいはプロセス・イノベーションを引き起こし、生産プロセスの生産性に与える影響を分析する必要もあろう。

参考文献

Kuroda, M. and Nomura, K. (2004) "Technological Change and Accumulated Capital: A Dynamic Decomposition of Japan's Growth", Dietzenbacher, E. and Lahr, M.L. (ed.) *Wassily Leontief and Input-Output Economics*, pp.256-293, Cambridge University Press.

黒田昌裕・新保一成・野村浩二・小林信行 (1997) 『KEO データベース—産出および資本・労働投入の測定—』, Keio Economic Observatory Monograph Series No.8, 慶應義塾大学産業研究所.

		1990-1995					
		1	2	3	4	5	6
1985-1990	unit -						
	1 own -	9	2	2	3	4	4
	difference -						
	unit +						
	2 own +	1	1	1	1	1	4
	difference -						
unit -							
3 own +	1	1	1	1	2	1	
difference -							
unit -							
4 own -	59	38	5	24	5	23	
difference +							
unit +							
5 own -	29	11	2	17	2	15	
difference +							
unit +							
6 own +	43	29	4	19	8	54	
difference +							

図1：伝統的な静学的 TFP 成長率(own)および静学的ユニット TFP 成長率(unit)の変化
 注) 数字はそのマスのなかに入っている生産プロセスの数を表している。

		1995-2000					
		1	2	3	4	5	6
1990-1995	unit -						
	1 own -	2	2	0	63	37	53
	difference -						
	unit +						
	2 own +	0	0	0	22	6	36
	difference -						
unit -							
3 own +	1	0	0	2	2	5	
difference -							
unit -							
4 own -	1	2	0	10	25	17	
difference +							
unit +							
5 own -	0	0	0	0	5	12	
difference +							
unit +							
6 own +	2	2	0	20	9	54	
difference +							

図2：伝統的な静学的 TFP 成長率(own)および静学的ユニット TFP 成長率(unit)の変化
 注) 数字はそのマスのなかに入っている生産プロセスの数を表している。

表1：静学的マクロ TFP 成長率に対する寄与が低い生産プロセス 50(1990-95年)

1990-95	Domar weight	TFP growth	Contribution
6211-01 金融	0.059	-0.049	-0.0029
6112-01 小売	0.077	-0.013	-0.0010
7122-01 道路貨物輸送	0.025	-0.030	-0.0008
2211-01 プラスチック製品	0.022	-0.024	-0.0005
4112-02 非住宅建築(非木造)	0.043	-0.012	-0.0005
4111-01 住宅建築(木造)	0.028	-0.015	-0.0004
1521-01 織物製衣服	0.011	-0.035	-0.0004
1911-02 印刷・製版・製本	0.016	-0.021	-0.0003
4111-02 住宅建築(非木造)	0.030	-0.011	-0.0003
5111-00 事業用発電	0.029	-0.010	-0.0003
4131-02 河川・下水道・その他の公共事業	0.021	-0.013	-0.0003
1911-01 新聞	0.005	-0.046	-0.0002
6212-02 損害保険	0.007	-0.034	-0.0002
3511-01 乗用車	0.026	-0.008	-0.0002
4121-01 建設補修	0.016	-0.013	-0.0002
1114-01 精穀	0.008	-0.025	-0.0002
4131-01 道路関係公共事業	0.020	-0.010	-0.0002
3021-01 建設・鉱山機械	0.006	-0.034	-0.0002
8515-10 自動車修理	0.014	-0.014	-0.0002
2812-01 建築用金属製品	0.007	-0.025	-0.0002
3311-03 電子計算機付属装置	0.011	-0.016	-0.0002
3541-01 自動車車体	0.004	-0.038	-0.0002
4132-09 その他の土木建設	0.018	-0.009	-0.0002
3029-09 その他の特殊産業用機械	0.005	-0.029	-0.0001
2523-01 セメント製品	0.004	-0.034	-0.0001
3011-02 タービン	0.001	-0.140	-0.0001
1121-02 ビール	0.002	-0.062	-0.0001
1911-03 出版	0.005	-0.027	-0.0001
3611-01 鋼船	0.003	-0.047	-0.0001
2032-01 脂肪族中間物	0.004	-0.032	-0.0001
2611-03 粗鋼(転炉)	0.006	-0.020	-0.0001
1711-03 金属製家具・装備品	0.002	-0.050	-0.0001
3521-01 トラック・バス・その他の自動車	0.008	-0.014	-0.0001
2319-09 その他のゴム製品	0.004	-0.026	-0.0001
8516-10 機械修理	0.013	-0.009	-0.0001
1611-02 合板	0.003	-0.039	-0.0001
2899-02 金属製容器及び製缶板金製品	0.005	-0.022	-0.0001
0113-00 野菜	0.006	-0.019	-0.0001
3331-01 電子応用装置	0.005	-0.022	-0.0001
1141-01 たばこ	0.002	-0.050	-0.0001
8611-04 遊戯場	0.016	-0.007	-0.0001
3031-09 その他の一般機械器具及び部品	0.003	-0.036	-0.0001
1112-03 酪農品	0.005	-0.022	-0.0001
0111-01 米	0.007	-0.015	-0.0001
2599-09 その他の窯業・土石製品	0.003	-0.037	-0.0001
3019-01 ポンプ及び圧縮機	0.004	-0.022	-0.0001
8612-01 一般飲食店(除喫茶店)	0.027	-0.003	-0.0001
3411-02 回転電気機械	0.007	-0.013	-0.0001
3019-09 その他の一般産業機械及び装置	0.005	-0.018	-0.0001
1711-01 木製家具・装備品	0.005	-0.018	-0.0001

表2：静学的マクロ TFP 成長率に対する寄与が低い生産プロセス 50(1995-2000年)

1995-2000	Domar weight	TFP growth	Contribution
6111-01 卸売	0.121	-0.009	-0.0010
6212-01 生命保険	0.014	-0.055	-0.0008
6112-01 小売	0.075	-0.006	-0.0005
8519-09 その他の対事業所サービス	0.026	-0.018	-0.0005
4132-09 その他の土木建設	0.015	-0.012	-0.0002
4111-01 住宅建築(木造)	0.026	-0.007	-0.0002
8514-01 貸自動車業	0.003	-0.068	-0.0002
8613-01 旅館・その他の宿泊所	0.015	-0.011	-0.0002
7321-02 民間放送	0.004	-0.038	-0.0002
5111-04 自家発電	0.002	-0.088	-0.0002
4131-02 河川・下水道・その他の公共事業	0.021	-0.008	-0.0002
4131-01 道路関係公共事業	0.020	-0.008	-0.0002
3541-01 自動車車体	0.004	-0.039	-0.0001
8516-10 機械修理	0.012	-0.012	-0.0001
8612-01 一般飲食店(除喫茶店)	0.030	-0.005	-0.0001
4112-02 非住宅建築(非木造)	0.028	-0.005	-0.0001
5211-01 上水道・簡易水道	0.006	-0.020	-0.0001
8619-06 冠婚葬祭業	0.004	-0.027	-0.0001
9000-00 分類不明	0.010	-0.012	-0.0001
0113-00 野菜	0.005	-0.023	-0.0001
7111-01 鉄道旅客輸送	0.012	-0.009	-0.0001
2072-01 塗料	0.002	-0.048	-0.0001
4111-02 住宅建築(非木造)	0.023	-0.004	-0.0001
1911-02 印刷・製版・製本	0.015	-0.006	-0.0001
8211-01 学校教育(国公立)★★	0.032	-0.002	-0.0001
8619-08 個人教授所	0.005	-0.012	-0.0001
4132-01 鉄道軌道建設	0.004	-0.016	-0.0001
2522-01 生コンクリート	0.004	-0.016	-0.0001
8511-01 広告	0.016	-0.004	-0.0001
8612-03 遊興飲食店	0.014	-0.004	-0.0001
4131-03 農林関係公共事業	0.006	-0.009	-0.0001
1113-01 冷凍魚介類	0.004	-0.015	-0.0001
2079-09 その他の化学最終製品	0.003	-0.016	-0.0001
2523-01 セメント製品	0.004	-0.014	-0.0001
3021-01 建設・鉱山機械	0.004	-0.012	-0.0001
1119-09 その他の食料品	0.003	-0.018	0.0000
7121-02 ハイヤー・タクシー	0.005	-0.010	0.0000
3029-09 その他の特殊産業用機械	0.004	-0.012	0.0000
2211-01 プラスチック製品	0.021	-0.002	0.0000
8515-10 自動車修理	0.014	-0.004	0.0000
8611-04 遊戯場	0.011	-0.004	0.0000
1911-03 出版	0.005	-0.010	0.0000
8619-03 美容業	0.004	-0.011	0.0000
2074-01 農薬	0.001	-0.051	0.0000
3019-09 その他の一般産業機械及び装置	0.004	-0.010	0.0000
2812-01 建築用金属製品	0.006	-0.007	0.0000
4121-01 建設補修	0.017	-0.002	0.0000
1131-01 飼料	0.002	-0.020	0.0000
2721-01 電線・ケーブル	0.002	-0.018	0.0000
3031-02 ベアリング	0.002	-0.021	0.0000

表3：静学的マクロ TFP 成長率の生産プロセス静学的 TFP 成長率弾性値(上位 50 部門)

1990-1995			1995-2000		
6211-01	金融	0.819	6211-01	金融	0.288
8112-01	公務(地方)★★	0.479	7122-01	道路貨物輸送	0.166
6212-01	生命保険	0.418	3341-02	集積回路	0.160
8513-01	物品貸貸業(除貸自動車)	0.298	6111-01	卸売	0.147
6112-01	小売	0.291	5111-00	事業用発電	0.143
7312-01	電気通信	0.225	8513-01	物品貸貸業(除貸自動車)	0.127
7122-01	道路貨物輸送	0.214	6212-01	生命保険	0.105
8512-01	情報サービス	0.159	3359-09	その他の電子部品	0.069
2211-01	プラスチック製品	0.154	7312-01	電気通信	0.068
6111-01	卸売	0.150	6112-01	小売	0.067
6421-01	住宅賃貸料	0.148	8519-09	その他の対事業所サービス	0.066
4112-02	非住宅建築(非木造)	0.143	6421-01	住宅賃貸料	0.062
8211-01	学校教育(国公立)★★	0.134	3311-01	パーソナルコンピュータ	0.053
4111-01	住宅建築(木造)	0.116	3321-02	携帯電話機	0.051
1521-01	織物製衣服	0.106	6411-02	不動産賃貸業	0.042
8222-01	企業内研究開発	0.104	3311-02	電子計算機本体(除パソコン)	0.029
1911-02	印刷・製版・製本	0.097	3212-01	民生用エアコンディショナ	0.028
7111-01	鉄道旅客輸送	0.096	8112-01	公務(地方)★★	0.027
4111-02	住宅建築(非木造)	0.095	3511-01	乗用車	0.027
8111-01	公務(中央)★★	0.095	4132-09	その他の土木建設	0.026
3341-02	集積回路	0.085	6212-02	損害保険	0.026
5111-00	事業用発電	0.084	4111-01	住宅建築(木造)	0.026
4131-02	河川・下水道・その他の公共事業	0.081	3359-02	液晶素子	0.025
2031-01	石油化学基礎製品	0.075	3211-03	ビデオ機器	0.025
7151-01	航空輸送	0.070	2621-01	熱間圧延鋼材	0.025
1911-01	新聞	0.070	3212-02	民生用電気機器(除エアコン)	0.025
3311-01	パーソナルコンピュータ	0.070	7151-01	航空輸送	0.024
6212-02	損害保険	0.068	8514-01	貸自動車業	0.024
3311-02	電子計算機本体(除パソコン)	0.068	8613-01	旅館・その他の宿泊所	0.023
3511-01	乗用車	0.064	2111-01	石油製品	0.022
8211-02	学校教育(私立)★	0.064	5111-04	自家発電	0.022
7141-01	外洋輸送	0.061	7321-02	民間放送	0.022
4121-01	建設補修	0.059	4131-02	河川・下水道・その他の公共事業	0.022
4131-01	道路関係公共事業	0.059	4131-01	道路関係公共事業	0.022
1114-01	精穀	0.058	2611-03	粗鋼(転炉)	0.021
3021-01	建設・鉱山機械	0.056	3541-01	自動車車体	0.021
8515-10	自動車修理	0.053	7142-01	沿海・内水面輸送	0.019
3211-03	ビデオ機器	0.052	8516-10	機械修理	0.019
8311-03	医療(医療法人等)	0.052	3311-03	電子計算機付属装置	0.019
2812-01	建築用金属製品	0.051	8612-01	一般飲食店(除喫茶店)	0.019
3311-03	電子計算機付属装置	0.049	0111-01	米	0.019
3541-01	自動車車体	0.049	4112-02	非住宅建築(非木造)	0.018
4132-09	その他の土木建設	0.048	5211-01	上水道・簡易水道	0.018
1119-09	その他の食料品	0.046	8619-06	冠婚葬祭業	0.017
3029-09	その他の特殊産業用機械	0.042	9000-00	分類不明	0.016
3011-02	タービン	0.042	0113-00	野菜	0.016
2621-01	熱間圧延鋼材	0.042	6411-01	不動産仲介・管理業	0.016
2523-01	セメント製品	0.041	3011-02	タービン	0.016
1121-02	ビール	0.040	7111-01	鉄道旅客輸送	0.016
1911-03	出版	0.040	7189-01	道路輸送施設提供	0.016

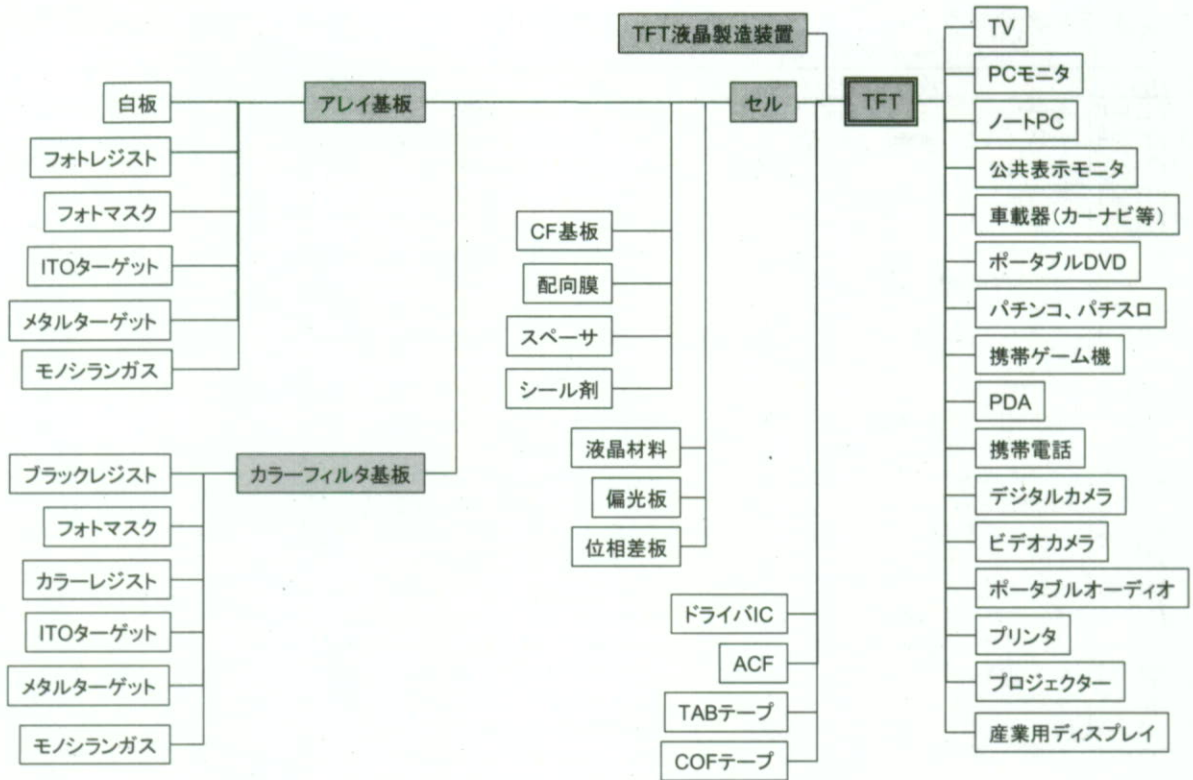


図3：TFT液晶の主たる要素技術と供給先

出典：三菱総合研究所

イノベーションの経済分析

Economic Analysis of Process and Product Innovations

西村 一彦¹

1. はじめに

技術革新（イノベーション）は、生産される財・サービス（プロダクト）は不変で生産プロセスが変化するプロセス・イノベーションと、財・サービスの変化に対応して生産プロセスが変化するプロダクト・イノベーションに分けて考えられている。本研究では、これら二つのイノベーションが互いにどのように関わりあっているのかを明らかにすることが技術革新を捉える上で重要と考え、これらの分析のための枠組みを示し、実証的な分析を試みる。

1. 技術システムとイノベーション

本研究の最終的なねらいは、技術システムにおけるイノベーションの相互作用を探ることである。図1は、このアイデアを模式的に表している。すなわち、ある産業におけるイノベーションが、要素技術のイノベーションと、どのような関わりをもっているのかを明らかにすることである。その際、イノベーションをプロセス・イノベーション（同じ製品がより安くできるようなイノベーション）とプロダクト・イノベーション（製品自体がより望ましくなるようなイノベーション）の二つの要素に分けて考察することによって、分析をより構造的に行うことが可能となる。これにより、たとえばイノベーションが社会全体の余暇を増大させるのか、生活水準の向上に資するのかといった分析が可能となるだろう。

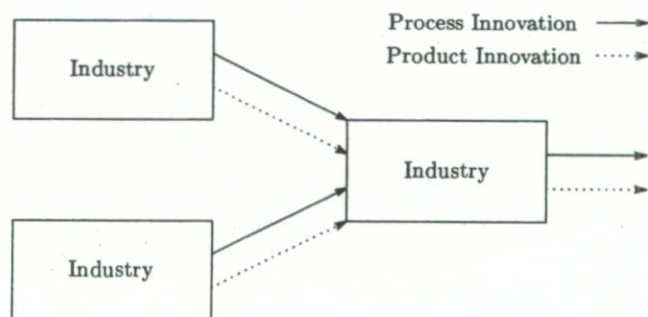


図1. イノベーションの相互作用

¹ 日本福祉大学経済学部 Address: 〒475- 3295 愛知県知多郡美浜町奥田、E-mail: nishimura@n-fukushi.ac.jp

2. 先行研究

イノベーションの実証的研究では、プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーションを明示的に分けて分析している研究と、両方は結局同じことであるとして（新しい製品が登場するプロダクト・イノベーションも、それがもともと存在はしていたがコストが高くて世の中に現れていなかったが、プロセス・イノベーションによって世に登場したと考えれば、プロセス・イノベーションで一元的に考えられる）一括的なイノベーションとして扱っている研究がある。

Trajtemberg (1990) は後者に属する典型的な例である。ここでは、CTスキャナーを題材にしており、部分均衡分析に基づいて、社会厚生の変化で、イノベーションを評価している。また、品質やその評価に対する不確実性を扱っており、そのために、離散的選択モデルを用いている。イノベーションの評価・計測については、多くの工学系の研究にある生産側の評価とは異なり、社会的価値や需要側の評価に基づいている。

Dietzenbacher (2000)は、プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーションを分けた実証研究を行っている。この研究は、産業連関分析に基づいており、技術システムの中でイノベーションを位置づけ、イノベーションの波及を扱っている。ただし、ここではプロセス・イノベーションを、同じ投入でより多くの産出が可能となること、プロダクト・イノベーションを、同じ量の産出がより少ない投入で可能となることと定義している。

一方、本研究は、Trajtemberg (1990) と同様に財の品質変化を明示的に扱い、さらに、プロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーションを分けて考え、需要側の価値評価に基づいてイノベーションの計測を行うものである。ただし、イノベーションの相互関係を明らかにするべく、Dietzenbacher (2000) と同様に、技術システムとしてモデル化を行うことを目標にしている。

3. プロセスとプロダクト・イノベーション

イノベーションを扱う上では、価格（費用）と品質（パフォーマンス、性能）が重要である。プロセス・イノベーションは、財の品質を一定として、価格のみが変化（低下）するイノベーションを指すが、プロダクト・イノベーションの方は、一般的に財の品質が変化（向上）することを指し、それに伴う価格変化については曖昧である。

図2は、ある産業で生産されている財の品質 Q と、その単位費用 C を表している。ある時点 $t=0$ では、点0の組合せの品質と費用の財が生産されるが、その時点でも品質

の高い財はより高い費用で生産することが可能であり、技術的には T_0 の組合せの財の生産が可能である。

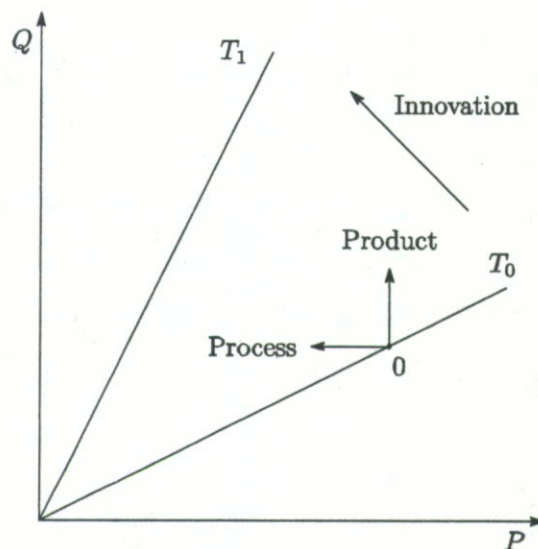


図2. プロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーション

イノベーションとは、 T_0 が T_1 へとシフトすることである。つまり、イノベーションによって、同じ品質でも価格が下がる、もしくは同じ価格でも品質が向上する。とくに前者はプロセス・イノベーションと呼ばれている。一方、プロダクト・イノベーションは、一般的には必ずしも価格一定下の品質向上を指すものではないが、本研究においては、プロダクト・イノベーションを、価格一定下の品質向上と定義することにする。

イノベーションの研究は、生産側の視点からなされる場合も少なくない。しかし、イノベーションの効果を計測したり、因果関係をモデル化しようとする場合、どれほどのイノベーションがなされたのかは、その効果、したがって需要側の視点から分析を行うことが有効である。本研究では、生産側はどの品質の財を生産する場合でも完全競争を仮定し、それと整合的な収穫一定を仮定する。これにより、分析対象を専ら需要曲線に絞ることができる。

2. 分析の枠組み

効用関数 U をもつ代表的消費者の行動を考える。代表的消費者は、ある財の消費数量 X および数量単位あたりの品質 Q の積（ここでは、 $S \equiv QX$ を財から受ける「サービス」と呼ぶ）と、その他の財からなる合成財（品質一定）の消費数量 Y から効用を得る

ものとする。代表的消費者の行動は、予算制約を B 、財の単価を P 、合成財の単価を1に基準化すると、次のように表すことができる。

$$\max_{X,Y} U(S,Y) \text{ s.t. } B = PX + Y, S = QX, Q = f(P) \quad (1)$$

ここに、 $f(P)$ は、 $t=0$ での技術 T_0 で、価格 P で可能な品質 Q を表す関数である。ここでは、図 2のごとく、線形関数 $f(P) = cP$ で表されるものと仮定する。代表的消費者は、効用最大化の状態において、 μ の効用を得ているとする。

$$\mu = U(f(P)X, B - PX)$$

このとき、 μ を一定として全微分を施し、次項を得る。

$$\frac{dX}{dP} = \frac{U_S cX - U_Y X + U_S X P \frac{dc}{dP}}{U_S cP - U_Y P} \quad (2)$$

1. イノベーションがない場合

ここでまず、イノベーションがない場合を分析しよう。これは図 1 生産プロセスが T_0 上を移動する場合である。すなわち、 $f(P) = cP$ のような線形式で表される場合を考察する。この場合、式(2)は次のように簡略化される。

$$\frac{X}{P} = - \frac{U_S cX - U_Y X}{U_S cP - U_Y P} = - \frac{X}{P} \quad (3)$$

このようにして、イノベーションがない場合の数量・価格曲線（需要曲線）を得ることができる。式(3)は、需要の価格弾力性が1になることを示している。これを、図 3の D_0 に示す。これに対し、何らかのイノベーションが存在する場合、技術すなわち $f(P)$ が変形する。次にこれを考察する。

2. 何らかのイノベーションがある場合

状態が T_0 よりも左上に移動するから、 $dc/dP > 0$ 、つまり、価格 P が微少に増加したとき T_0 の傾き c が増加する（あるいは反対に P が減少したとき c も減少する）。式(1)

より、この場合、需要の価格弾力性は、 $\eta > 1$ となる²。この場合の需要曲線を図 3の D_P に示す。

$$\frac{X}{P} = -\eta \frac{X}{P} \quad (4)$$

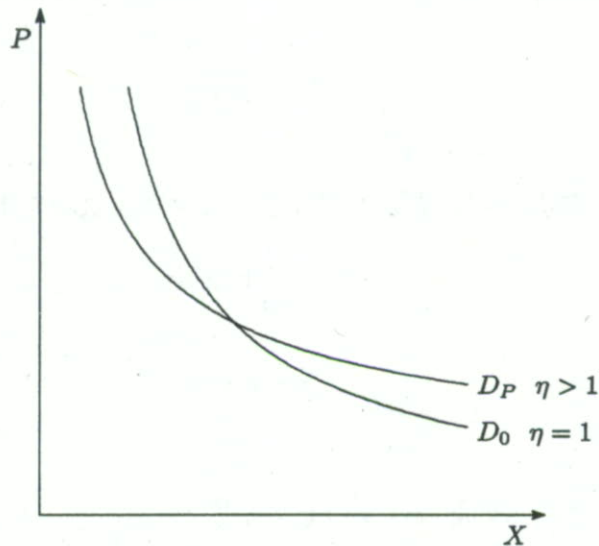


図 3. イノベーションと需要曲線

3. プロセス・イノベーションの場合

いま、 Q を一定とした需要曲線が実証的に計測されたとしよう。これは、プロダクト・イノベーションはない (Q =一定) という前提で、プロセス・イノベーションのみが、どのような (需要側の) 評価を受けるのかということを示していることになる。また、プロセス・イノベーションのみによる需要曲線では必ず $\eta > 1$ となることがわかる。さらに、品質変化をコントロールして (プロセス・イノベーションのみによる) 需要曲線を計測すれば、プロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーションの両方を含んだ状態変化から、プロダクト・イノベーションを分けることも可能となる。

4. イノベーションの計測

需要曲線を計測する場合、通常は対象とする財の品質が一定であることを前提としている。すなわち、プロダクト・イノベーションは全くなく、プロセス・イノベーションのみを前提とする需要曲線が通常計測される。前段の考察によれば、このような場合の

²プロセス・イノベーションのみによって、 $\eta > 1$ となるが、だからといってそれがプロセス・イノベーションだけによるものとは限らない。

需要の価格弾力性は $\eta > 1$ である。また、イノベーションがない場合には $\eta = 1$ であることから、 η の値からプロセス・イノベーションの効果を計ることができる。

1. プロセス・イノベーション

計測された需要の価格弾力性 η を所与とすると、定義より次項が成立する。

$$\eta = -\frac{\partial X}{\partial P} \frac{P}{X} \quad (5)$$

したがって、これを需要曲線の微分方程式とみなせば、次項を得る。

$$\ln P = -\frac{1}{\eta} \ln X + \ln C \quad (6)$$

$$P = CX^{-\frac{1}{\eta}} \quad (7)$$

上記の議論により、この需要曲線はプロセス・イノベーションによる価格変化があったとした場合の需要量の変化を表している。

ある、基準時点0におけるこの財の価格が P_0 、消費数量が X_0 であったとする。このとき、需要曲線 D_p は次のように表される。

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{X}{X_0} \right)^{-1/\eta} \quad (8)$$

図4 にプロセス・イノベーションによる品質一定下の需要曲線 D_p と、イノベーションがない場合の（価格低下に伴い品質が低下する）需要曲線 D_0 を示す。点 a が時点0の状態を表している。

いま、ある一定時間後に消費数量が X_0 から X_1 に変化したとしよう。イノベーションがない場合（ $\eta = 1$ ）には、この消費数量の単位評価額 P_0 は式(9)における $X = X_1$ のときの解として求められる。

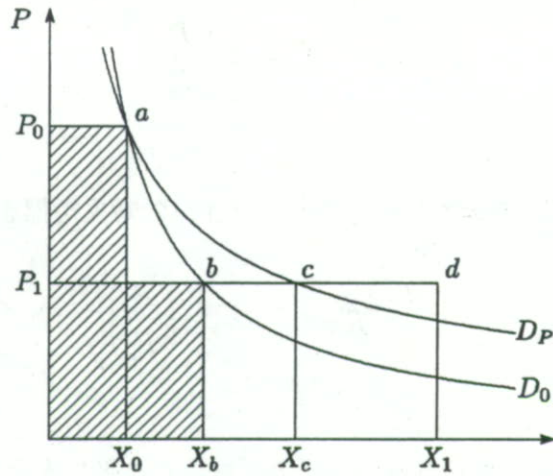


図4. 需要関数と消費額の変化

$$P_b = P_0 \left(\frac{X_1}{X_0} \right)^{-1} \quad (9)$$

同様にして、プロセス・イノベーションだけが存在した場合の消費数量 X_1 に対する単位評価額 P_c を求めることができる。

$$P_c = P_0 \left(\frac{X_1}{X_0} \right)^{-1/\eta} \quad (10)$$

以上から、次のようなプロセス・イノベーションの効果の指標を考えることができる。

$$R_p \equiv P_c/P_b = \left(\frac{X_1}{X_0} \right)^{1-1/\eta} \quad (11)$$

これとはまったく逆に、プロダクト・イノベーションの変化を価格変化で捉えることもできる。すなわち、図5において、式(8)より、

$$X_b = X_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{-1} \quad (12)$$

$$X_c = X_0 \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{-\eta} \quad (13)$$

したがって、次のようなプロセス・イノベーションの効果指標を考えることもできる。

$$R'_p \equiv X_c / X_b = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{1-\eta} \quad (14)$$

これらの指標 R_p, R'_p は、どちらかを用いるか、もしくは平均をとるなども考えられる。

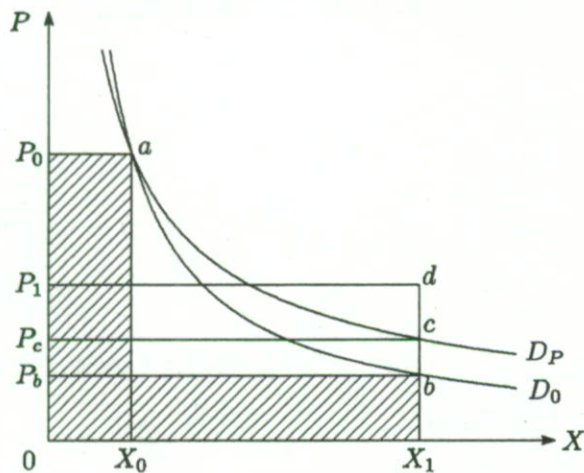


図 5. 需要関数と消費額の変化

2. プロダクト・イノベーション

プロダクト・イノベーションの需要曲線を計測することは容易でなく、また、イノベーションの相互作用を分析するという目的に照らし合わせても、得策ではない。ここでは、プロダクト・イノベーションだけに伴う需要曲線（あるいは弾力性）を計測するのではなく、実際に起こった（両方のイノベーションが起こっている）状態から、プロセス・イノベーションの寄与を差し引くことで、プロダクト・イノベーションの効果計測する方法を考える。

いま、一定時間後の状態が、図 4、図 5 における d であったとする。このときの数量および価格が X_1, P_1 であるとする。先の議論同様に、価格比および数量比によって、プロダクト・イノベーションおよびプロセス・イノベーション両方を含む効果指標を考えることができる。

$$R_{PQ} \equiv P_1/P_0 = \frac{P_1 X_1}{P_0 X_0} \quad (15)$$

$$R'_{PQ} \equiv X_1/X_0 = \frac{P_1 X_1}{P_0 X_0} \quad (16)$$

これより、プロダクト・イノベーションだけの効果指標を得る。

$$R_Q = \frac{P_1 X_1 - P_0 X'_0}{P_0 X_0} = \frac{P_1 X_1}{P_0 X_0} - \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{1-\eta} \quad (17)$$

$$R'_Q = \frac{P_1 X_1 - P_0 X_1}{P_0 X_0} = \frac{P_1 X_1}{P_0 X_0} - \left(\frac{X_1}{X_0} \right)^{1-\eta} \quad (18)$$

5. 弾性値によるイノベーションの計測

実証的に得られる弾性値 η 自体が、プロセス・イノベーションの度合いを表しているといえることができる。一方、プロダクト・イノベーションの（あるいはプロセス・イノベーションが混合した）弾性値を得ることが困難である。しかし、次のような方法でこれを導出できるかもしれない。

図 5において、状態 a から状態 b に変化した場合を考える。状態 b に対して、イノベーションのない需要曲線 D_1 を考えることができる。これは、次のように表される。

$$PX = P_1 X_1 \quad (19)$$

時点1でイノベーションのない需要曲線 D_1 のどの状態でも、時点0を基準とするイノベーションの効果を表している。

一方、平面 Q, P の二点を通る需要の価格弾力性を求めることができる。状態 a と b を通る場合の弾力性 η_1 は次のように求められる。

$$\eta_1 = \frac{\ln X_0 - \ln X_1}{\ln P_1 - \ln P_0} \quad (20)$$

点 b は D_1 上を移動させても同じイノベーションの効果を表すが、状態 c のように、 D_1 と接する状態が、最も保守的なイノベーション効果の指標となる。

$$\eta_1^* = \frac{\ln X_0 - \ln X_Q}{\ln P_Q - \ln P_0} \quad (21)$$

このようにして、両方のイノベーションが混合した効果指標 η_1^* と、プロセス・イノベーションの効果指標 η より、プロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーションの効果を比較することができる。

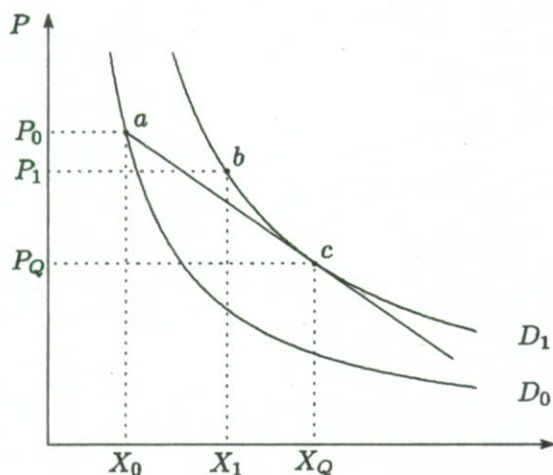


図 6. 需要関数と消費額の変化

3. 研究計画

上記の枠組みで、イノベーションの計測を行うにあたり、最終的にはすべての財について、(品質一定の) 需要の価格弾力性を知る必要があるが、まず第一に、上記の枠組みの正当性を検証するためにも、対象とする財を絞って、各イノベーションの状況と需要の価格弾力性の関係を調査してみる必要がある。その上で、弾力性の文献調査や二時点産業連関表から得られる数量と価格を用いて、定量的な分析を行う必要がある。

参考文献

Trajtenberg, Manuel (1990) *Economic Analysis of Product Innovation, The Case of CT Scanners*, Cambridge, MA: Harvard University Press.

Dietzenbacher, Erik (2000) Spillovers of Innovation Effects, *Journal of Policy Modeling*, 22-1, 27-42.

大学の研究開発活動が産業技術革新に及ぼす効果に関する研究

権 赫旭¹

1. はじめに

大学は経済成長と技術革新において欠かせない存在であることは多くの研究により認められてきた。大学は新しい知識の供給源として経済成長に寄与するだけでなく、新たな人材の供給源としても大きく寄与しているといわれてきた(Jaffe 1989, Mansfield 1991, Lucas1988)。大学の研究活動から生まれる新しい知識や理論は学術論文として発表され、社会全体の技術知識ストックを増やし、教育という手段を通じて、学生に体化されることで、社会全体の人的資本の蓄積にも寄与している。したがって、大学の研究活動が産業へ波及する経路としては、新しく開発された技術知識から得られる利益を開発者が専有できないことで起こるスピルオーバーによるものと、新たな知識や理論によって教育された人によるものが考えられる。概念的には大学の研究活動により蓄積された技術知識が知識スピルオーバーと人を通じて産業界に波及するといえるが、実際にそれを計測することは非常に難しいために、大学の研究活動から生まれる知識や人材がどのように産業の技術革新に効果を与えるかを同時に評価した論文は少ない。ここでは、日本の大学が知識や人材供給を通じて、産業の技術革新にどれくらい寄与したかを分析する。

2. 大学の知識供給効果分析

大学からの知識スピルオーバーに関しては、最近、特許や学術論文のデータベース化が進んでいることもあり、企業レベルで細かく測定することができる。学術論文の中で企業の研究者と大学教授が共同に研究した論文を調べる(Cockburn and Henderson 1998, Zucker et al. 1998)ことと、企業の特許による学術論文の引用を調べ、指標化することがよく利用される方法である。仮に、学術論文への特許の引用増加が本当に知識のスピルオーバーを反映しているならば、つまり、そうした特許の引用が企業のR&D活動に対して有用な新しい科学の適用性を真に捉えられているならば、研究開発支出の水準をコントロールすることで、学術論文への特許の引用がより多い企業では研究開発活動のアウトプットの水準がより高くなるはずである。言い換えれば学術論文への特許の引用度合と企業の生産性は正の関係性があるはずである。

図1をみると、日本の特許取得者が学術論文を引用した件数が最近急増していることが分かる。特許による学術論文の引用データベルの研究開発、売上高、資本ストック、従業者数などのデータを利用して、学術論文の引用が引用件数で調整された特許件数と

¹ 日本大学経済学部、Address:〒101-8360 千代田区三崎町 1-3-2、Tel:03-3219-3471、Fax:03-3219-3471
E-mail: kwon@eco.nihon-u.ac.jp

企業の産出に与える効果を検証する。



図 1：日本企業の特許による学術論文の引用件数

出所) Branstetter and Kwon (2004)

これらの関係を検証している回帰分析の結果は表 2-1 と表 2-2 に示されている。

表 2-1：学術論文引用の発明の質への効果

固定効果モデル Negative Binomial Regressions				
被説明変数: 明変数: 引用件数で調整された特許数				
変数	(1)	(2)	(3)	(4)
Science Citations t-1	0.0072 (0.0106)			
Science Citations t-2		0.0419 (0.0120)		
Science Citations t-3			0.0271 (0.0127)	
Science Citations t-4				0.0319 (0.0137)
研究開発	0.032 (0.0298)	0.0654 (0.0255)	0.1006 (0.0275)	0.1218 (0.0061)
特許	0.4962 (0.0174)	0.3151 (0.0255)	0.2051 (0.0179)	0.1325 (0.0188)
観測値	3,030	2,977	2,929	2,728
Log Likelihood	-11,357	-11,348	-11,304	-10,508

表 2-2：学術論文引用の生産性への効果

固定効果モデル				
被説明変数：実質売上高				
変数	(1)	(2)	(3)	(4)
Science Citations t-1	0.0189 (0.0044)			
Science Citations t-2		0.0172 (0.0450)		
Science Citations t-3			0.0158 (0.0044)	
Science Citations t-4				0.0158 (0.0045)
研究開発	0.07 (0.0092)	0.05 (0.0094)	0.0588 (0.0095)	0.084 (0.0098)
特許	0.0178 (0.0058)	0.0152 (0.0059)	0.0169 (0.0059)	0.0206 (0.0059)
資本	0.1863 (0.0168)	0.2208 (0.0175)	0.2017 (0.0173)	0.1844 (0.0175)
労働	0.424 (0.0261)	0.4134 (0.0271)	0.4216 (0.0268)	0.3773 (0.0273)
観測値	3,281	3,235	3,178	2,948
R-squared	0.9048	0.9105	0.9089	0.9104

もし企業が近年の学術的な科学から有用な教訓を学んでいるとすれば、このことにより、企業はより高い質の発明の創造が可能となるはずである。では、発明の質はどのようにすれば計測できるであろうか。仮に特許が本当に価値のあるものならば、後に許可される特許により頻繁に引用されるはずである。過去の重要な研究は、後の特許により引用される度合と経済価値の関連性を証明するものである。

このアイデアに基づき、最初の 4 列は t 年に企業 i により発明された特許の数を利用する。ここでの特許は、t 年から渡って 4 年の間に許可された特許から得る引用の数によってウェイト付けられている。ここでの被説明変数は、引用件数で調整された特許数である。推計される式は

$$P_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln rd_{it} + \beta_2 \ln sale_{it} + \beta_3 \ln science_cite_{it-1} + \beta_4 \ln patent_{it-1} + \alpha_i + \sum_{t=1}^T \delta_t T_t + \varepsilon_{it}$$

(1)

説明変数は、その年の企業の実質 R&D 支出 (lnd) の対数値、企業規模をコントロールするための実質売上高 (lrsale) の対数値である。「学術論文引用」の変数は、t-1 年に申請された企業 i のアメリカの特許により作成された全ての引用の数の対数値である。

これは、「学術研究の利用」から得られる企業の教訓は後の発明の質に影響を与えると考えられるからである。そのため、われわれの回帰式には、異なるラグを組み入れた。

また、より多くの数の特許を申請している企業ではより多くの引用が生じていることは明らかである。こういった部分を調整するために、企業*i*により申請される特許の1期前の数の対数値 (*lpatent*_{*i*-1}) を式に含める。そのため我々は、企業の R&D 支出の水準や売上、過去の特許のコホートにおける「学術論文引用の度合」のラグ値が、質を調整した特許に与える影響を同時に観察することができる。特許が適用された年に対応する時間ダミーのセットはこの表の δ_t に含まれている。同様に、企業の固定効果も α_i で含まれている。質を調整された特許の値はカウント変数である。そのため、われわれは Hasuman, Hall, and Griliches(1984)によって提案された固定効果 negative binominal estimator を利用する。

表 2-1 の結果は、学術論文の特許の引用が質の調整された特許数に最も短いラグで全てにおいて正で有意な影響を与えることを示している。表 2-1 の第 1 列から 4 列目は異なった長さのラグに対応している。2 列目から 4 列目の係数は、4%強から 3%弱の範囲に渡っている。係数はそれほど大きくないが、学術論文の特許引用のアウトプット弾力性は、その企業の R&D 支出額のアウトプット弾力性の約 30%から 60%の間にあることが示唆される。これは、論文への特許引用により裏付けられる、大学からの知識のスピルオーバーと企業の発明生産性の間の有意な関係が証明されている。

学習効果が本当であれば、企業の質を調整された特許数だけでなく、企業の売上高にも正の影響を与えるはずである。コブ・ダグラス型生産関数をベースにして推計を行う。推計式は下の通りである。

$$Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 lkap_{it} + \beta_2 lemp_{it} + \beta_3 lrnd_{it} + \beta_4 lscience_cite_{it-1} + \beta_5 lpatent_{it-1} + \alpha_i + \sum_{t=1}^T \delta_t T_t + \varepsilon_{it}$$

(2)

ここでは、*t* 年の実質売上高の対数値 (*Q*_{*it*}) を被説明変数とし、同年の実質資本ストックの対数値 (*lkap*)、労働者数の対数値 (*lemp*)、R&D 支出の対数値 (*lrnd*)、そして、学術論文引用のさまざまなラグの値 (*lscience_cite*) を説明変数とする。以前は、特許のコホートの規模をコントロールするための変数 (*lpatent*) を含めたが、今回は、特許化された製品が開発され、市場に売り出されるまでにはしばらく時間がかかると思われるため、科学引用の過去の値が特に重要となる。発明が計測される生産性に正の影響を与えるのは、顕著な売上が発生した後のみである。先の回帰分析同様、企業と年の固定効果も含める。

この枠組みにおいては、線形の固定効果モデルは適切である。学術論文引用の項の係数値は大学から学ぶことによる企業の売上高増加への貢献分が計測されている。表 2-2 に、この回帰分析の結果が示されている。生産関数推計の場合でも、学術論文引用と

企業の売上高の間の正で統計的に有意な関係が見て取れる。また、この正の関係は、特許の学術引用と売上高の関係で仮定されたラグの長さに関係なく、存在する。推計された係数値はそれほど大きくないが、学術論文引用の生産性に対する正の影響があると言える。

以上の考察より、表 2-1 や表 2-2 から得られた結果は、学術論文への特許引用に関するデータの潜在的有用性に対する我々の信頼を強めている。学術論文への引用と企業の発明の生産性と売上高への影響に関して得られた発見は、近年の研究分野における最も重要な学術的、政策的な貢献と言える。

3. 大学の人材供給効果分析

3.1 モデル

大学からの新しい人材供給によるスピルオーバー効果を分析するために、研究開発が 1 単位上昇する時に生産性の変化分を表す技術知識ストックの収益率を推定するアプローチを利用する。このアプローチの利点としては、技術知識ストックの測定誤差の問題を回避することがあげられる。

まず、次のようなコブ=ダグラス型生産関数を導入する。

$$Q_i = Z_i^{\eta_z} R_i^{\alpha} S_i^{\beta} U_i^{\gamma} e^{\mu} \quad (3)$$

ただし、 Q は実質産出額、 Z は資本ストック、労働投入および中間投入額、 R は技術知識ストック、 S は産業間のスピルオーバー、 U は大学からのスピルオーバーとする。また、技術変化に内包されないショックを μ_i とする。なお、下付記号の i はそれぞれ産業を表すものとする。

(3)式の両辺を自然対数に変換し、時間に対して微分すると以下の式が得られる。

$$\frac{\dot{Q}_i}{Q_i} = \mu + \eta_z \left(\frac{\dot{Z}_i}{Z_i}\right) + \alpha \left(\frac{\dot{R}_i}{R_i}\right) + \beta \left(\frac{\dot{S}_i}{S_i}\right) + \gamma \left(\frac{\dot{U}_i}{U_i}\right) \quad (4)$$

(4)式の右辺 2 番目の項を左辺に移動させると一般的な成長会計になって、左辺は全要素生産性(TFP) の成長率になる。したがって、(4)式は(5)式のように変換できる。

$$TFPG_i = \frac{\dot{Q}_i}{Q_i} - \eta_z \left(\frac{\dot{Z}_i}{Z_i}\right) = \mu + \alpha \left(\frac{\dot{R}_i}{R_i}\right) + \beta \left(\frac{\dot{S}_i}{S_i}\right) + \gamma \left(\frac{\dot{U}_i}{U_i}\right) \quad (5)$$

ここで α 、 β と γ は自産業の技術知識ストック、産業間のスピルオーバーと大学からのスピルオーバーが 1%上昇に対して全要素生産性が何%上昇するかを示す技術知識ストックの弾力性を表すものである。

技術知識ストックの弾力性を、

$$\beta = \frac{\partial Y}{\partial R} \frac{R}{Y} = \rho \frac{R}{Y} \quad (6)$$

として表すことができる。この関係式を利用すれば、(5)式を次の(7)式に変換することができる。

$$TFPG_i = \mu + \rho \left(\frac{R_i}{Q_i} \right) + \rho_s \left(\frac{S_i}{Q_i} \right) + \rho_u \left(\frac{U_i}{Q_i} \right) \quad (7)$$

ここで、 ρ は技術知識ストックが1単位上昇する時に生産性の変化分を表す技術知識ストックの収益率である。減価償却率が0であれば、技術知識ストックは研究開発支出額と一致する。したがって、(7)式の右辺の技術知識ストック変数は研究開発支出額に変更できる。

したがって、以下のような推定式を考える。

$$TFPG_i = \mu + \rho \left(\frac{E_i}{Q_i} \right) + \rho_s \left(\frac{E_{si}}{Q_i} \right) + \rho_u \left(\frac{E_{ui}}{Q_i} \right) + \varepsilon_i \quad (8)$$

3.2 利用したデータと変数

以下の式で全要素生産性を測定する。

$$\begin{aligned} \ln\left(\frac{TFP_{t+1}}{TFP_t}\right) &= \ln\left(\frac{Q_{t+1}}{Q_t}\right) - [0.5 * (S_{L,t+1} + S_{L,t})] \ln\left(\frac{L_{t+1}}{L_t}\right) - [0.5 * (S_{K,t+1} + S_{K,t})] \ln\left(\frac{K_{t+1}}{K_t}\right) \\ &\quad - [0.5 * (S_{M,t+1} + S_{M,t})] \ln\left(\frac{M_{t+1}}{M_t}\right) \end{aligned}$$

ここで、 Q, L, K と M は産出額、労働投入、資本ストックと中間投入額である。労働投入と資本ストックは労働の質と稼働率が調整されたものである。 $S_L, S_K,$ と S_M は総生産コストに占める各生産要素のコストシェアである。これらのデータはJIP2003から取った。

産業の研究開発額は総務省の『科学技術研究調査報告』から取った。研究開発額の実質化はJIP2003データベースのデフレーターを使用して行った。大学の学問別研究開発支出額も『科学技術研究調査報告』のデータを用いた。『科学技術白書』の大学研究開発支出額のデフレーターを用いて、実質化した。表3-1には年度別の産業の研究開発支出額、大学の研究開発支出額と大学研究開発支出額の構成が示されている。表から産業の研究開発支出額は年5.7%、大学の研究開発支出額は年6.6%で成長したことが分かる。同じ期間中、日本の国内総生産(GDP)が年率で3.5%成長したことを考えると産業・大学の研究開発支出額の成長率は非常に高かったと言える。大学の研究開発支出額の学問別分布をみると非常に偏っていることがわかる。人文社会、工学と医学の分野を合わせると全大学研究開発支出額の8割弱を占めている。

表 3-1：産業の研究開発支出額，大学の研究開発支出額 と大学研究開発支出額の構成

年度	産業の研究 開発支出額 (費用ベース) ：百万円	大学の研究 開発支出額 ：百万円	大学の研究開発支出額の専門分野別比重							
			人文 社会 (%)	自然 科学 (%)	工学 (%)	農学 (%)	医学 (%)	教育 (%)	家庭学 (%)	その他 (%)
1970	2,013,984	1,203,042	22	5	19	5	30	6	5	8
1975	2,440,642	2,130,689	22	5	17	4	36	4	5	5
1980	3,041,915	3,240,197	20	5	16	3	40	4	6	5
1985	5,063,841	4,295,908	21	5	15	3	41	5	5	5
1990	7,660,493	5,345,900	22	5	16	3	40	4	5	5
1995	8,058,963	6,621,944	23	6	16	3	40	3	5	4
1998	9,288,131	6,955,135	24	5	16	3	40	3	4	4
年率成長率 (%)	5.69	6.57								

産業間のスピルオーバーの変数としてはレント・スピルオーバーと知識スピルオーバーの二つの変数を用いる。まず、レント・スピルオーバーは次のように測定した。

$$SR_i = \sum_{j \neq i}^N b_{ji}^0 E_j$$

ここで、 b_{ji} は j 産業の産出の内、 i 産業へ販売された比率である。 E_j は j 産業の研究開発支出額である。自産業の研究開発支出額のダブル・カウント問題を回避するために、対角線の要素を 0 にした。

産業間の知識スピルオーバー変数は次のように測定した。

$$SK_i = \sum_{j \neq i}^N \omega_{ij} R_j$$

ここで、 E_j は j 産業の研究開発支出額である。産業間のスピルオーバー効果を測定するために、次のような企業間の技術距離を示すウェイトを利用して産業間スピルオーバー変数を算出する。技術距離が近い産業間においてはスピルオーバー効果が大きくなると仮定する。

$$w_{ij} = \frac{F_i F_j'}{[(F_i F_i')(F_j F_j')]^{1/2}}$$

企業間技術距離を表すウェイトは 0 から 1 までの数字になる。産業 i と j の技術分野別の研究開発支出の分布が完全に異なるとウェイトは 0 となり、全く同じであれば 1 になる。表 3-2 には 1970 年から 1998 年の間の産業間の平均技術距離が示されている。天気機械産業と技術距離が近い産業は精密機械、出版・印刷と非鉄金属産業であることが分かる。

表 3-2 : 均産業間技術距離 (1970-1998)

産業	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
食料品	1											
繊維	0.153	1										
出版・印刷	0.027	0.053	1									
化学	0.328	0.456	0.052	1								
石油・石炭	0.033	0.117	0.041	0.227	1							
鉄鋼	0.005	0.029	0.081	0.032	0.030	1						
非鉄金属	0.003	0.041	0.126	0.042	0.137	0.108	1					
組立金属	0.008	0.034	0.043	0.036	0.029	0.127	0.162	1				
一般機械	0.013	0.052	0.217	0.036	0.021	0.189	0.070	0.188	1			
電気機械	0.002	0.059	0.309	0.035	0.051	0.106	0.309	0.132	0.185	1		
輸送用機械	0.003	0.071	0.026	0.007	0.003	0.039	0.064	0.134	0.217	0.061	1	
精密機械	0.011	0.051	0.251	0.054	0.041	0.091	0.149	0.077	0.339	0.355	0.078	1

大学から産業へのスピルオーバーは次のような式で測定した。

$$U_i = \sum_{k \neq i}^N h_{ki} U_k$$

ここで、 h_{ki} はk 専門分野別の大学卒業生、i 産業へ進出した比率である。 U_k は大学の専門分野別の研究開発支出額である。

表 3-3 : 産業別大学専攻別卒業生の割合: 1973-1998 (%)

産業	人文社会	自然科学	工学	農学	医療	家政学	教育	その他
食料品	2.5	2.1	1.2	15.9	1.5	0.5	5.5	0.9
繊維	1.5	0.7	1.1	0.6	0.2	0.4	3.3	2.7
出版・印刷	2.2	1.3	0.8	0.5	0.1	1.1	1.2	3.7
化学	2.2	9.0	5.1	7.2	22.9	0.5	2.1	1.1
石油・石炭	0.3	0.4	0.4	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1
鉄鋼	0.5	0.5	1.2	0.2	0.0	0.1	0.3	0.1
非鉄金属	0.3	0.4	1.0	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2
組立金属	0.7	0.6	2.3	0.3	0.0	0.1	0.3	0.4
一般機械	1.4	2.1	7.4	1.3	0.1	0.4	0.8	0.9
電気機械	2.9	11.1	17.4	0.6	0.2	0.9	1.8	2.4
輸送用機械	1.3	1.3	5.7	0.5	0.1	0.4	0.6	1.2
精密機械	0.7	2.9	3.4	0.4	0.2	0.3	0.4	0.7
製造業	19.1	35.7	51.4	30.3	25.6	5.6	18.4	20.1

表 3-3 には大学の専門分野別の卒業生の産業別進出割合が示されている。人文社会、自然科学、工学の卒業生は製造業の中で主に電気機械産業へ、農学と医学は化学産業へ

多く進出している。

3.3 推計結果

日本の大学卒業生がどの産業に就職したかを表す就職マトリックスと産業別全要素生産性データを利用して、人材供給を通じた大学の研究活動の波及効果を分析した結果は表 3-4 に示されている。産業間のスピルオーバー効果をコントロールした上で、全期間の対象にした結果をみると、大学から産業への新たな知識を持った人材供給による効果はマイナスで統計的に有意な結果ではなかった。期間を経済成長期（1973-85）と低迷期（1986-98）に分けて推計した。結果から、73年から85年の間の日本経済の成長期には正の有意な効果を持ったが、日本経済の低迷期においては負で有意な効果を示している。これらの結果から、日本の大学は経済成長期には新しい人材供給で日本経済に貢献し、持続的な成長力が求められる最近では、知識の供給源として機能していないといえる。つまり、日本の大学が新たな人的資本の供給によって経済成長に貢献する時代はもう終わって、日本経済を成長させるためには大学が人材供給から新たな知識供給する役割への変換しなければならないことを示唆している。

表 3-4：大学からのスピルオーバーの産業生産性への効果

被説明変数：全要素生産性		1973-1998		1973-1985		1986-1998	
定数項		0.011	(4.83)	0.006	(1.70)	-0.019	(-8.96)
			***		*		***
産業の研究開発		0.281	(3.08)	0.150	(1.29)	0.307	(4.12)
			***				***
産業間の研究開発 のレント・スピルオーバー		-1.208	(-1.60)	1.880	(1.42)	-1.602	(-2.93)

産業間の研究開発 の知識・スピルオーバー		-0.001	(-1.50)	0.055	(1.86)	-0.011	(-2.49)
					*		**
大学からのスピルオーバー (人を通じて)		-0.206	(-0.97)	0.572	(1.64)	-0.373	(-2.27)
					*		**
観測値		312		156		156	

注) 括弧内はt値である。***, **, *は1%、5%、10%の有意性を表す。

4. 結論及び今後の課題

まず、卒業生に体化された形で、大学から産業界へ移転される人材供給効果を回帰分析して、73年から85年間の日本経済の成長期には正の有意な効果を、日本経済の低迷期においては負で有意な効果を得た。これらの結果から、日本の大学は経済成長期には新しい人材供給で日本経済に貢献したことを言える。

次に、大学の研究の引用が企業の質を調整した特許数や産出に及ぼす効果を検証した。学術論文の引用の質を調整した特許数や産出に対する弾力性は統計的に正で有意であることが分かった。持続的な成長力が求められる最近では、日本大学が知識の供給源として機能しているといえる。しかし、学術研究の寄与度は他の変数に比べて小さいため、大学の研究能力を高めるような政策が必要であろう。

今後の課題として、日本の大学が産業の技術革新に寄与することは特許の引用や卒業生の供給だけではなく、共同研究、委託研究や大学教授による非公式的な関係などを通じても起こりうる。したがって、大学の研究活動の効果を正確に評価するためには様々な経路に関する包括的な計測が必要であり、より正確なデータの整備が要求される。

参考文献

- Adams, J. (1990) "Fundamental Stocks of Knowledge and Productivity Growth," *Journal of Political Economy* 98: 673-702.
- Florax, R. and H. Forlmer (1992) "Knowledge Impacts of Universities on Industries: An Aggregate Simultaneous Investment Model," *Journal of Regional Science* 32:437-66.
- Fukao, K., and H. U. Kwon (2003) "Nippon no Seisansei to Keizai Seicho," (in Japanese), *ESRI discussion Paper Series*, no. 66.
- Fukao, K., T. Miyagawa, H. Kawai, T. Inui (2003) "Sangyo Betsu Seisansei to Keizai Seicho: 1970-1998," (in Japanese), *Keizai Bunseki*, no. 170, Economic and Social Research Institute, Cabinet Office, Government of Japan, Tokyo.
- Goto, A. (1993) *Nihon no Gijutsu Kakushin to Sangyou Soshiki*, Tokyo: University of Tokyo Press.
- Goto, A. (2000) "Japan's National Innovation System: Current Status and Problems," *Oxford Review of Economic Policy* 16:103-113.
- Goto, A., and K. Suzuki (1989) "R&D Capital, Rate of Return on R&D Investment and Spillover of R&D in Japanese Manufacturing Industries," *Review of Economics and Statistics* 71:555-64.
- Hausman, J., Bronwyn H., and Z. Griliches (1984) "Econometric Models for Count Data with an Application to the Patents-R&D Relationship," *Econometrica* 52(4): 909-938.
- Jaffe, A. (1986) "Technological Opportunity and Spillovers of R&D," *American Economic*

Review 76:984–1001.

Jaffe, A. (1989) “Real Effects of Academic Research,” *American Economic Review* 79:957–70.

Jaffe, A., M. Trajtenberg, and R. Henderson (1993) “Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations,” *Quarterly Journal of Economics* 108:577–98.

Jaffe, A., and M. Trajtenberg (1996) “Flows of Knowledge from Universities and Federal Labs: Modeling the Flow of Patent Citations over Time and across Institutional and Geographic Boundaries,” NBER working paper no. 5712

Lucas, R. (1988) “On the Mechanics of Economic Development,” *Journal of Monetary Economics* 22:3–29.

Management and Coordination Agency (various years) *Report on the Survey of Research and Development*.

Mansfield, E. (1991) “Academic Research and Industrial Innovation,” *Research Policy* 20:1–12.

Mansfield, E., and J.Y. Lee (1996) “The Modern University: Contributor to Industrial Innovation and Recipient of Industrial R&D Support,” *Research Policy* 25:1047–58.

Ministry of Education (various years) *Report on the Survey of Schooling*.

Nagaoka, S. (2004) “Evaluating R&D Management of Firms Using Patent Citations,” working paper.

Odagiri, H. (1985) “Research Activity, Output Growth, and Productivity Increase in Japanese Manufacturing Industries,” *Research Policy*, 14:117–30.

Odagiri, H., and S.Y. Kinukawa (1997) “Contributions and Channels of Inter-industry R&D Spillovers: An Estimation for Japanese High-tech Industries,” *Economic Systems Research* 9:127–42.

Odagiri, H. (1999) “University-Industry Collaboration in Japan: Facts and Interpretations,” in L. Branscomb, F. Komada, and R. Florida, (eds.) *Industrializing Knowledge: University-Industry Linkages in Japan and the United States*, MIT Press, Cambridge, MA, 269-306.

Science and Technology Agency (various years) *White Paper on Science and Technology*.

Thursby, J., and M. Thursby (2002) “Who is Selling the Ivory Tower? Sources of Growth in University Licensing,” *Management Science* 48: 90-104.

Yamada, T., T. Yamada, and G. Liu (1991) “Labor Productivity and Market Competition in Japan,” *NBER Working Paper*, no. 3800.

Zuker, L., M. Darby, and M.Torero (2002) “Labor Mobility from Academe to Commerce,” *Journal of Labor Economics* 20:629–60.

アジア開発途上国での環境改善プロセス導入における 経済性、環境影響評価基盤の構築

酒井 裕司¹

1. はじめに

近年、中国をはじめとするアジア地域の開発途上国では、急速な経済発展及び工業化に伴い環境問題が深刻化している。今後このような地域において持続的な発展を達成するためには、経済と環境の両立の達成可能な技術を確認することが要求される。例えば中国では、2006年3月に全国人民代表大会で承認された第十一次五年計画にて、農業改革、産業の発展、環境問題への対応等を主要課題として取り上げ、環境破壊や都市部と農村部などの所得格差拡大といったような構造問題の解決を目指しており、持続的成長の実現に全力を挙げている。

また、中国を含めたアジア地域をはじめとする開発途上国においては廃棄物などによる水質、土壌、大気汚染などの環境汚染が深刻化している。そして、そのような途上国における環境破壊は、都市、農村、森林などの自然環境との共生関係の崩壊をもたらし、更に悪化すると考えられる(図1)。そこ



図1：開発途上国における環境汚染の連鎖サイクル

で、今後はこれらの悪循環のサイクルを断ち切るとともに経済成長や環境浄化へ繋がる技術の確立が必要になってくると考えられる。

このような背景のもと、以下において、アジア地域における大気汚染、酸性雨、砂漠化、水不足などの環境問題の現状についての概要と、大気汚染防止の技術である脱硫プロセスをはじめ、水質浄化技術などの環境浄化技術について、アジア開発途上国(主に、中国)における環境浄化技術導入や政策的状況について記す。

1.1 アジア地域における環境問題の現状について

近年、アジア諸国においては、急速な経済発展及び工業化に伴い、いわゆるエネルギー大量消費型、環境高負荷型の社会発展の形態をとっているために、様々な環境問題やエネルギー問題が生じている。それに伴い、大気、水、土壌といった環境における汚染及び劣化は急速に進行しており、更にそれらを原因とした健康被害などの二次的な被害は多数報告されている。

¹ 東京大学大学院工学系研究科化学システム工学専攻

Address: 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1, TEL&FAX: 03-5841-8837

E-mail: sakai@chemsys.t.u-tokyo.ac.jp

まず、大気汚染については、以下にてアジア地域の中でも深刻な中国を例に述べる。中国での大気汚染が深刻化している理由として、エネルギー消費に占める石炭の割合が多く、更に石炭を洗炭するなどの事前脱硫、更に、排煙脱硫プロセスなどの事後脱硫が普及していないことが挙げられる。

そして、アジア地域における開発途上国では、水質汚濁、水災害など、水資源の問題がますます深刻化かつ多様化している。更に、人口増に伴う水資源の需要の増加は著しく、現在、世界人口の1/3にあたる人々が水不足に直面しており、10億人以上が安全な飲料水を利用できない状態にあるといわれている。この他にも、洪水被害や、水の不公平な配分に起因する食糧難など、水資源に関係する問題の多くが開発途上国で発生している。

1.2 環境浄化技術について

アジア開発途上国において、今後も更に深刻化すると思われる水、大気、土壌などの環境汚染に伴い、環境浄化技術は一層普及すると思われる。そのためには、政策的な視点からの導入の他、コストが安く、有用な副産物利用が可能であるなどといったインセンティブが必要になってくる。中でも、大気汚染や水質汚染に関しての環境浄化技術についてはニーズが多いため、以下に概要を記す。

まず、大気汚染の中でも二酸化硫黄(SO₂)に関するプロセスを示す(表1)。水の使用に応じて、大きく、湿式脱硫プロセス、半乾式脱硫プロセス、乾式脱硫プロセスのように分類されており、各脱硫プロセスにおいて副産物、脱硫率やコストなどの特長について記す。

表1：各種脱硫プロセスにおける特徴について

	脱硫プロセス	吸収剤または吸着剤	副生物(処理)	特徴(脱硫率, コスト etc.)
湿式	石灰スラリー吸収法	石灰石、消石灰、ドロマイト、フライアッシュ	石膏(回収)、亜硫酸カルシウム主体のスラッジ(廃棄)	脱硫率: 90%以上 設備費高コスト
	水酸化マグネシウムスラリー法	水酸化マグネシウム	SO ₂ ・石膏(回収) 硫酸マグネシウム(廃棄)	脱硫率: 90%以上
	アルカリ溶液吸収法	水酸化ナトリウム、亜硫酸ナトリウム、アンモニア水など	亜硫酸ナトリウム、硫酸/硫酸、硫酸(回収)	脱硫率: 90%以上
	ダブルアルカリ法	ソーダ、アンモニア、硫酸アルミニウム	石膏(回収)	脱硫率: 90%以上
	酸化吸収法	触媒添加希硫酸	石膏(回収)	脱硫率: 85-90%
半乾式	スプレードライヤー法	消石灰、重炭酸ソーダ、ソーダ灰熱水養生剤(石灰灰利用)	亜硫酸カルシウム、石膏(廃棄または埋め立て)	脱硫率: 70% 湿式と比較して水の使用量少ない
乾式	炉内石灰吹き込み法	石灰石、消石灰、熱水養生剤(石灰灰利用)	亜硫酸カルシウム、石膏(廃棄または埋め立て)	脱硫率: 80%程度
	活性炭吸着法	活性炭(活性コークス)	硫酸(硫酸、液体SO ₂)(回収)	脱硫率: 80% 活性炭が高コスト
	電子ビーム法	アンモニア	硫酸(回収)	脱硫率: 80-95% 高コスト 同時脱硫脱硝

更に、アジア地域などにおいて、バイオブリケット(図 2)は、都市部だけでなく農村などを中心とした石炭利用に伴う室内汚染に対する脱硫かつ脱硝技術として注目されている。バイオブリケットとは、粉炭(70-85%)と木質廃材、農業廃棄物などの植物繊維質バイオマスの混合物を高圧ブリケットングすることによって作成される。更に、消石灰などの脱硫剤を添加することにより燃焼と共に脱硫も出来る有効な技術である。

バイオブリケット燃焼における特徴として以下のような点が挙げられる。

- 1) 煤煙の大幅な減少
- 2) バイオマス添加による燃焼効率の向上
- 3) バイオマスによる成型の容易化 (バインダーとしての役割)
- 4) 石炭使用量の減少に伴う二酸化炭素排出削減
- 5) 自己脱硫・脱硝機能
- 6) 燃焼炉の改良が不必要
- 7) 安価な脱硫コスト
- 8) 燃焼灰の有効利用

また一方で、短所としては、糖蜜や澱粉等のバインダーを必要とすることや、圧縮成型のためにコストが高くなること(通常石炭と比較して 1.2-1.6 倍)が挙げられる。

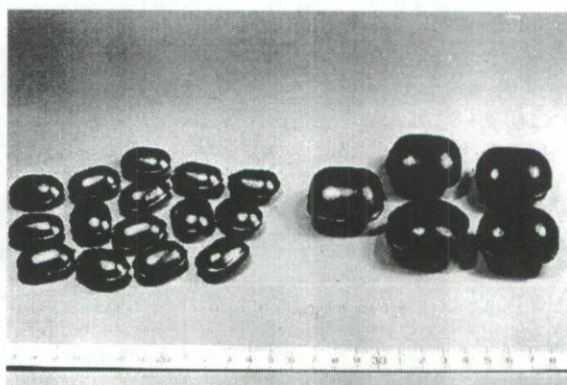


図 2 : バイオブリケットの形状

しかし、このように中国での民生用にお

ける安価な脱硫技術という観点から見ると非常に有効な技術であると思われる。

続いて、水処理技術における分類を簡単に示す。大きく分類して、単位操作としては、粗大浮遊物分離、凝集、沈殿・浮上、磁気分離、ろ過、膜分離、酸化・消毒、析出、吸着、イオン交換・キレート、電気化学、蒸発、ガス分離・溶解があり、造水プロセス・装置としては、浄水プロセス・浄水器、産業用プロセス・装置などがある。例えば、膜分離については、有機膜と無機膜、親水性膜と疎水性膜などの膜材質の違い、対称膜と非対称膜など膜構造の違い、シート型(平膜)、回転平膜型、スパイラル型、チューブラー型、中空糸円筒型、モノリス型などの膜エレメント・モジュール形状の違い、吸引型(浸漬型)か加圧型かの違い、精密ろ過膜、限外ろ過膜、ナノろ過膜、逆浸透膜などの膜の種類の違い、定流量型と定圧型、内圧型と外圧型、全量ろ過型とクロスフロー型などの運転方式の違い、物理洗浄や薬品洗浄などの洗浄方式の違いなどにより分類されている。

2. 中国における環境問題改善に対する取り組み

<脱硫廃棄物による砂漠化土壌改良に関する研究について>

1996 年より遼寧省瀋陽市郊外康平県にて脱硫石膏によるアルカリ土壌改良試験(図 3)を行っており、初年度のトウモロコシ生育においては、図 4 のように施用区では対照区

とは明らかな生育結果の差を確認できた。その他、各圃場における詳細な土壌分析などの結果についての議論は割愛させて頂くが、未施用土壌との生育とは明らかに異なる良好な改良効果を土壌の化学性などから現地にて確認することが出来た。またその際には、土壌改良剤として湿式脱硫プロセス、半乾式脱硫プロセス、簡易湿式脱硫プロセス、バイオブリケットからの脱硫廃棄物が利用され、全ての試験区において未施用土壌とは明らかに異なる良好な生育結果を得ることが出来、1996年に一度施用した土壌で2004年においても改良の継続性が確認された。

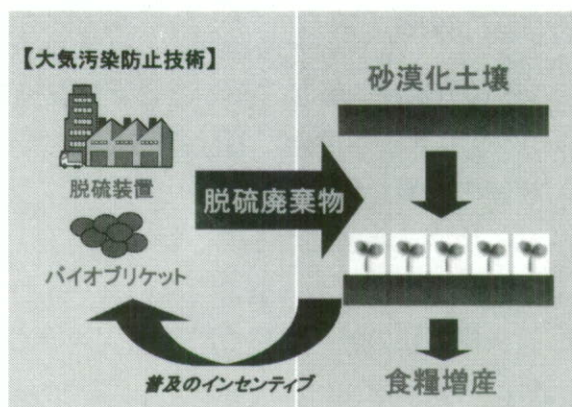


図3：脱硫廃棄物による砂漠化土壌改良プロセス

また、小規模圃場のみならずヘクタール規模の大規模圃場での改良効果も確認することが出来、トウモロコシのような畑作のみならず水田での石膏による生産量の向上も確認できた。更に、脱硫石膏中の石炭フライアッシュ中に含有すると思われる重金属類(B, Cr, Mn, Ni, Cu, As, Cd, Pb)の可食部への移行を摂取量から評価した。その結果、殆どの重金属類について脱硫石膏中では土壌中よりも含有量が少なく、石膏施用に伴う重金属類の増減との相関性は確認できなかったため、石膏施用による影響は確認されなかった。また、摂取量を1日の消費量を仮に乾燥密度で100g(実のみ)と多めに設定し比較しても問題にならないことも確認出来た。

現在、この技術については上記瀋陽市郊外のみならず、内モンゴル、天津市などでも各地の土地の性質や状況に応じた改良手法を検討しており、天津市ではNaClによる塩類集積による被害土壌が多く存在することから、植物を利用した除塩手法と、脱硫石膏や建築廃材、更には、有機物を含有した廃棄物を組み合わせた土壌改良技術の検討を行なっている。更に、内モンゴル地域は、中国の中でも最も砂漠化が進行している地域であり、黄砂の発生源ともなっている場所であるオールドス地域を拠点に、フィールド観測技術やこれまでの脱硫廃棄物だけでなく畜産廃棄物などの利用を考えた総合的な土壌改良技術によるアプローチにて、砂漠化土壌の再草原化を目標に検討し始めている。

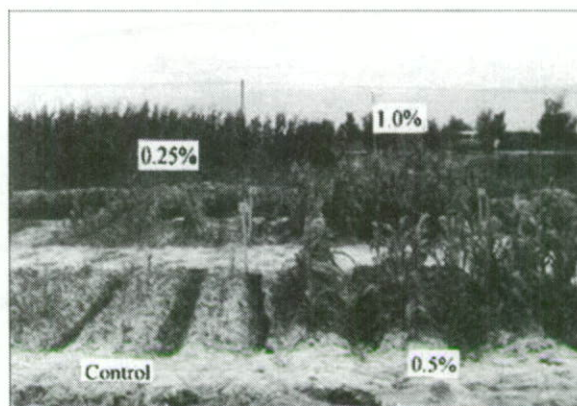


図4：脱硫石膏施用区におけるトウモロコシ生育結果 (図中、Control、0.25%、0.5%、1.0%は施用量を示す。)

<干ばつ、渇水地域における水資源有効利用に関する研究について>

近年、世界の多くの国々において、水資源枯渇化地域の拡大が深刻な問題となっている。そこで、そのような地域で、かつ未開発な地域に、我が国の先進的な水処理技術、水使用ネットワークシステム技術、水使用合理化技術及びリスク管理技術を導入し、有効な水資源活用システムを構築し、水資源枯渇問題の解決に貢献したいと考えている。

そのためには、まず現状で導入を想定している地域内での水資源循環活用システムについて、各ユニットにどのような処理技術を採用するか、各フローにどのような水量、水質を割り当てるかをシステム設計および最適化する必要がある。

具体的な水処理技術としては、ユニットサイズや操作の簡便性などから膜技術となるが、精密ろ過法、限外ろ過法、ナノろ過法、逆浸透法などあり、これらの膜技術と組み合わせる前処理技術も多様である。更にこれらの膜技術を利用して、用途ごとの要求に合わせた水質が得られるかどうかの検討も必要である。

そこで、これまで現地研究者と共同研究が行い易く、かつ水資源枯渇化地域の拡大が問題となっている中国を対象として取り上げ、このようなシステム設計を可能とするために、現地の研究者と共に、以下の内容を目的として研究を行なっている。

- ① 対象地域の水資源活用状況を調査
- ② 現地への膜による浄水技術の適合性を試験的に検討
- ③ 現地の社会システムに適合したユニットプロセスを提案するためのシミュレーションによる検討

3. 環境改善プロセス導入に伴う統合評価基盤について

上述のように、これまで中国にて大気、水、土壌などの環境改善プロセスの導入及び評価のための研究を行ってきた。具体的には、大気汚染防止のための脱硫プロセスからの廃棄物による砂漠化土壌改良の研究と、干ばつや渇水地域への水資源の有効利用プロセスの開発や構築についての研究である。

本稿では、上記二つの環境改善プロセスに対して、現場での研究における評価手法及び結果、そして今後の先進国における環境浄化技術の移転や技術導入における政策的な視点からの評価の適用可能性を検討するために、これまで構築してきた統合的評価基盤と導入シナリオ結果について記す。以下にて、上記二つの研究のこれまでの取り組みにおける内容と結果について記す。

【脱硫廃棄物による砂漠化土壌改良に関する研究】

中国への脱硫プロセス導入により得られた脱硫廃棄物を砂漠化土壌改良剤として利用し（図 3）、本プロセス導入を総合的に評価するために、経済モデル、土壌改良モデル、大気拡散モデル、患者発生モデルのサブモデルを統合して統合評価基盤を構築してきた（図 5）。

本稿では、その中でも経済モデルと土壤改良モデルの統合モデルによる脱硫プロセスを導入した場合の評価について説明する。経済モデルは中国全土における産業連関表をベースに作成されており、脱硫プロセス導入時には、経済変数として平均賃金、農業労働者数、非農業労働者数、名目GDP、実質GDP、名目消費、実質消費、実質投資、実質金利、名目金利、GDPデフレーター、複合財価格、国内財価格、電力国内価格、脱硫装置以外の実質投資、脱硫装置建設投資が、更に、部門別(産業22部門、生活消費)及び省別CO₂、SO₂排出量が経済モデルより算出され、また、土壤改良モデルは1996年より中国東北部にて行なってきた脱硫廃棄物による砂漠化土壤改良試験データ(農産物の収穫量データ、改良に使用した各種脱硫廃棄物の施用量など)を用いて構築しており、各種脱硫廃棄物の発生量、土壤改良面積、農産物生産量を算出することが可能である。



図5：脱硫プロセス導入時の統合評価基盤

本稿では、図6のようなモデルを利用して中国全土に湿式脱硫プロセス(脱硫率:95%、発電所稼働率:63%)を石炭火力発電所(シナリオ1)に段階的に、民生用の脱硫技術として適しているバイオブリケットを家計消費に段階的に導入した場合(シナリオ2)(脱硫装置は大規模の方から、25%、50%、75%、100%)のシミュレーション結果について紹介する。

表2、表3は、それぞれ、シナリオ1、シナリオ2における経済変数の導入率に対するシミュレーション結果を示す。

シナリオ1の場合には、導入率の増加に伴う労働賃金、農業部門以外の労働供給、実質GDP、国内電力価格、建設コストの増加を確認できた。導入率75%を超えると小規模の発電所に脱硫装置を導入することになるが、湿式の脱硫装置は小規模な発電所に設置する場合は効率が悪く、多額の投資を必要とする。そのため、経済に対しては実質GDPに対してはプラスのインパクトがあるが、逆に、民間の脱硫装置以外の実質投資は大きなマイナス値をとってしまうと考えられる。また、産業別におけるSO₂排出量では、当然であるが、電力・蒸気・熱水供給部門において大幅な削減を確認することが出来、仮に100%導入した場合には、約800万トン(電力・蒸気・熱水供給部門の約92%)のSO₂を削減できると計算された。更に、省、市別のSO₂排出

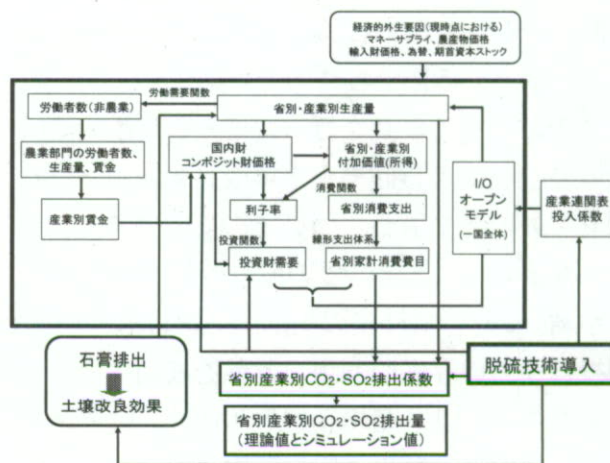


図6：経済モデルと土壤改良モデル

のため、経済に対しては実質GDPに対してはプラスのインパクトがあるが、逆に、民間の脱硫装置以外の実質投資は大きなマイナス値をとってしまうと考えられる。また、産業別におけるSO₂排出量では、当然であるが、電力・蒸気・熱水供給部門において大幅な削減を確認することが出来、仮に100%導入した場合には、約800万トン(電力・蒸気・熱水供給部門の約92%)のSO₂を削減できると計算された。更に、省、市別のSO₂排出

削減量においては、上位の省を挙げると、山東省(95万トン)、四川省(83万トン)、江蘇省(63万トン)、河北省(55万トン)、河南省(43万トン)(カッコ内数値は100%導入時のSO₂削減量)であり、消費される石炭中の硫黄含有量は、省別に異なる値を利用している(特に、四川省など高い)、産業に占める電力部門のシェアの高い地域において大きな削減効果を確認できた。最後に、土壌改良結果についてであるが、導入率の増加に伴うアルカリ土壌改良面積、トウモロコシ生産量、コメ生産量の増加が確認でき、100%導入時には、それぞれ、3.1%、2.6%、9.6%という割合であることも確認できた。

次に、シナリオ2の場合には、導入率の増加に伴う労働賃金、農業部門以外の労働供給、実質GDP、脱硫装置以外の実質投資の減少を確認できた。これは、燃料価格の高騰に伴う消費抑制のためであると考えられる。そして、バイオブリケットの家計消費導入に伴い、大幅なCO₂削減、SO₂削減を確認でき、100%導入時における削減割合はCO₂では、総計で約5.7%削減、家計消費で約46%削減、更に、SO₂では、総計で約8.8%削減、家計消費で約72%削減を確認できた。更に、バイオブリケット導入量増加に伴う、CO₂削減、SO₂削減量の増加も確認できた。また、省別CO₂排出量の削減では、上位からは黒龍江省(3866万トン)、吉林省(2533万トン)、内モンゴル自治区(1365万トン)、遼寧省(1320万トン)、甘肅省(824万トン)、そして、同様に、SO₂では、内モンゴル自治区(23.4万トン)、黒龍江省(23.1万トン)、寧夏回族自治区(18.8万トン)、山東省(18.5万トン)、吉林省(17.2万トン)(カッコ内数値は100%導入時のCO₂、SO₂削減量)という結果が得られた。省別における違いは、製造装置規模は全国で決定するような形式になっているが、省毎は産業構造と石炭消費量の違いに関係するために生じたと考えられる。最後に、土壌改良であるが、シナリオ1同様に、導入率の増加に伴うアルカリ土壌改良面積、トウモロコシ生産量、コメ生産量の増加が確認でき、100%導入時には、それぞれ、3.5%、3.6%、6.6%という割合であることも確認でき、コメ生産量は比較すると少ないが、シナリオ1の脱硫装置導入の場合と比較しても、変わらない程度の改良結果であることが確認でき、土壌改良剤としての有効利用という視点からも、バイオブリケットの有効性が示唆された。

以上、湿式脱硫プロセス、バイオブリケット導入のシミュレーション結果を例として示したが、中国での脱硫廃棄物利用による砂漠化土壌改良まで含めたオリジナルな環境改善プロセスを経済性かつ環境影響という視点から総合的に評価することが出来た。

表2：脱硫装置導入に伴う経済変数変化(シナリオ1)

経済変数	単位	導入率			
		25%	50%	75%	100%
労働賃金	%	1.90	3.83	6.83	16.45
労働供給(農業部門以外)	%	-1.17	-2.27	-3.92	-8.87
労働供給(農業部門)	%	1.15	2.24	3.87	8.74
実質GDP	%	0.69	1.26	2.12	4.62
国内電力価格	%	20.47	26.01	33.38	51.18
実質投資(脱硫装置以外)	%	0.85	0.78	0.29	-3.82
建設コスト	10 ⁸ Yuan	163.34	385.63	750.90	2037.77

表3：バイオブリケット導入に伴う経済変数変化（シナリオ2）

経済変数	単位	導入率			
		25%	50%	75%	100%
労働賃金	%	0.39	0.34	0.29	0.24
労働供給(農業部門以外)	%	-0.27	-0.21	-0.15	-0.09
労働供給(農業部門)	%	0.26	0.21	0.15	0.09
実質GDP	%	0.21	0.17	0.12	0.08
国内電力価格	%	-	-	-	-
実質投資(脱硫装置以外)	%	0.58	0.40	0.24	0.10
建設コスト	10 ⁸ Yuan	10.54	15.35	19.23	22.60

表4：脱硫装置導入に伴う土壌改良結果（シナリオ1）

	導入率			
	25%	50%	75%	100%
アルカリ土壌改良面積の割合(%)	0.8	1.6	2.4	3.1
トウモロコシ生産量の割合(%)	0.7	1.3	2.0	2.6
コメ生産量の割合(%)	2.4	4.8	7.2	9.6

表5：バイオブリケット導入に伴う土壌改良結果（シナリオ2）

	導入率			
	25%	50%	75%	100%
アルカリ土壌改良面積の割合(%)	0.9	1.8	2.6	3.5
トウモロコシ生産量の割合(%)	0.9	1.8	2.7	3.6
コメ生産量の割合(%)	1.6	3.3	4.9	6.6

<干ばつ、渇水地域における水資源有効利用に関する評価基盤について>

開発途上国における干ばつ、渇水地域での未開発地域における水資源有効利用システム提案として、小規模分散型の水処理装置導入に伴う循環利用の提案を行なってきた(図7)。

これらのシステム評価のために、既存のシミュレーションモデルを用いて水資源循環利用による利用水量の最小化を検討している。その際には、生活、農業、工業など各場所での要求水量、要求水質を設定し、更に各水処理装置の種類の設定及び処理能力を設定する。

現在、導入地域として中国撫順市の特定地域を選択し、生活廃水、農業廃水、工業廃水に対して膜を用いた小規模分散型の水処理技術による水再利用を想定した検討を行なっている。

具体的には、中国遼寧省撫順市をフィールドとして以下のようなデータ収集を行ってきた。

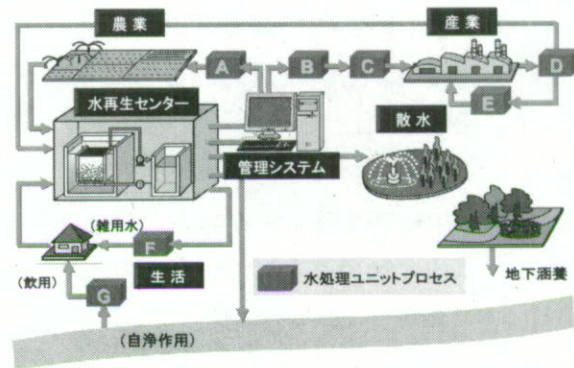


図7：未開発地域への水処理技術導入例

・水質基準調査状況について

地表水水質基準(GB3838-2002)

地下水水質基準(CJ/T 14848-93)

生活飲用水水質基準(GB5749-85)

都市、鎮での供水水質基準(CJ/T 206-2005)

耕地灌漑水(GB 5084-92)

・廃水基準調査状況について

污水处理場(GB 18918-2002)

<基本的水質制御項目> (1級 A,B,2級,3級)

COD、BOD、SS、動植物油、石油類、陰イオン界面活性剤、T-N、NH₄-N、T-P、色度、pH、大腸菌

<汚染物質基準>

総水銀、アルキル水銀、総 Cd、総 Cr、六価クロム、総 As、総 Pb

<選択制御項目>

総 Ni、総 Be、総 Ag、総 Cu、総 Zn、総 Mn、総 Se、ベンゾ(a)ピレン、揮発性フェノール、総シアン化合物、硫黄化合物、ホルムアルデヒド、アミン類、ニトロ化合物、有機リン農薬、マロン、ジメイト、パラチオン、メチルパラチオン、ペンタクロロフェノール(PCP)、ブトホルム、四塩化炭素、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ベンゼン、トルエン、o,m,p-メチルトルエン、エチルベンゼン、クロロベンゼン、o,p-ジクロロベンゼン、2,4-ジニトロクロロベンゼン、フェノール、m-メチルフェノール、2,4-ジクロロフェノール、2,4,6-トリクロロフェノール、アクリロニトリル、可吸着有機ハロゲン化合物

污水総合(GB 8978-1996)

<第一類>

総水銀、アルキル水銀、総 Cd、総 Cr、六価クロム、総 As、総 Pb、総 Ni、3,4-ベンゾ(a)ピレン、総 Be、総 Ag、α線、β線

<第二類> (1級,2級,3級)

pH、彩度、SS、BOD、COD、石油類、動植物油、揮発性フェノール、総シアン化合物、硫化物、アンモニア性窒素、フッ化物、リン酸塩(Pで計算)、メチルアルコール、アミノベンゼン類、ニトロベンゼン類

製紙工業(GB 3544-2001)

排水量、BOD、COD、SS、吸着性有機ハロゲン化合物、pH

船舶(GB 3552-83)

海洋石油開発(GB 4914-85)

紡績・染料(GB 4287-92)

BOD、COD、色度、pH、SS、NH₄-N、硫黄化合物、六価クロム、銅、アミン類、二酸化塩素 (1級,2級,3級)

肉類加工(GB 13457-92)

SS、BOD、COD、動物油、NH₄-N、pH (1級,2級,3級)

アンモニア合成(GB 13458-2001)

NH₄-N、COD、シアン化合物、SS、石油類、揮発性フェノール、硫化物、排水量、pH
冶金、選鉱、鋼鉄(GB 13456-92)

pH、濁度、フェノール、As、COD、油類、六価クロム、Zn、NH₄-N (1級,2級,3級)

更に、モデル計算に必要な導入地域の面積と人口などと導入地域における各工業からの廃水水質と水量についても調査を行ってきた。現在も、用水側の水質及び各産業における要求水質を調査しており、更に各産業における利用時の要求水質を調査するとともに、上記地域における循環利用を考えたシミュレーションを既存のソフトウェア(リンホフマーチ社、WaterTargetなど)により評価を行なっていく予定である。

シミュレーションによる検証とは別に、現地における生活廃水処理のために、撫順市内の遼寧石油化工大学内にて、まだ日本の膜モジュールにて検討されている例の少ない膜分離活性汚泥法(MBR)を用いて連続運転評価を行なっている(図8)。現在も、運転状況、処理状況、メンテナンスなどを検討中である。

具体的には、処理水量は、1m³/日と小型で、測定項目は、BOD、COD、NH₄-N、TP、石油類、濁度、DO、pH、温度、SV(活性汚泥沈殿率)、MLSS(活性汚泥浮遊物質)、粘度、回流比、圧力、流量、累積流量などで、装置内における原水槽、傾斜板(入口、出口)、嫌気槽、好気槽、膜処理水にて上記の水質項目などの検討をしている。現在も、連続運転を行っており、水質の状況に応じて、二次処理水利用を検討する予定である。

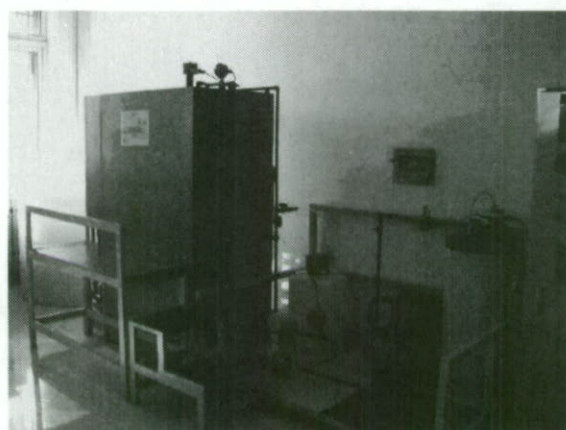


図8：遼寧石油大学内の水処理装置

また、現在は、このような分散型水処理装置へ風力発電による分散型エネルギー

システム導入についても検討しており、最終的には、自然エネルギーを利用した小規模分散型水処理技術の確立を目指し、シミュレーションと実地試験から評価を行っている。

4. 今後の展開について

今回の調査にて、これまで中国において行なってきた具体的な環境改善プロセス導入における評価手法を提示し、現地での評価結果およびシミュレーション結果について示した。

今後はこのような環境改善プロセスをより統合的な視点で評価することが出来るように、脱硫プロセスからの廃棄物による砂漠化土壌改良については、SO₂などの汚染物

質の大気における拡散などの影響や人体への健康被害などを組み込んだモデルの構築についても、より詳細に検討する必要があると思われる。更に、そのような健康影響の視点からはよりローカルなエリアでの評価を行う必要があるため、中国全土だけでなく、瀋陽市や天津市などの地域にて基盤構築及びシミュレーションを検討する必要があるであろう。

また、開発途上国における小規模分散型の水処理装置導入の評価については、現在行なっている水資源有効利用のための循環型利用における使用水量の最小化シミュレーションのみならず、小規模分散型システム導入と大規模な処理施設をある特定地域に導入した場合の経済的および環境影響評価、更に、健康影響評価も行なうことが可能な評価基盤を、産業連関表を用いた経済モデルをベースとして構築することも必要であろう。

このように、近年も増加している開発途上国への大気汚染や水処理などの環境浄化システム導入において、実地試験に基づき、統合的に評価できる基盤の構築は重要な意味を持ち、更に、乾燥地における土壌改良においては植林などを考慮した CDM(クリーン開発メカニズム)、大気汚染では SO₂ 排出における課徴金制度、更には、廃棄物利用問題や黄砂における近隣諸国への被害などに関わる視点などを取り入れた評価基盤も構築する必要があるであろう。

【参考文献など】

- ・ 定方正毅、大気クリーン化のための化学工学、培風館、1999
- ・ 松本聰、日本土壤肥料科学雑誌、70 (6)、816-823、1999
- ・ 真木太一、中国の沙漠化・緑化と食糧危機、信山社、1996
- ・ 王適辛ら、中国塩漬土、科学技術社、1991
- ・ 酒井裕司、東京大学博士論文、2003
- ・ Yuji Sakai et al., Journal of Global Environmental Engineering, Vol.8, 55-66, 2002
- ・ Yuji Sakai et al., Soil and Sediment Contamination, Vol.13 (1), 65-80, 2004
- ・ ICWE・UNCED 資料研究会、21 世紀の水と環境、大成出版社、1992
- ・ http://www.jpo.go.jp/shiryousonota/hyoujun_gijutsu/mizushori/jukeizu.pdf

内閣府経済社会総合研究所 平成 18 年度イノベーション国際共同研究
技術/技術革新の経済分析研究会論文集

発行：内閣府経済社会総合研究所

〒100-8970 東京都千代田区霞ヶ関 3-1-1

TEL：03-5253-2111（代表） FAX：03-3581-0571

編集：財団法人政策科学研究所

TEL：03-3523-7061（代表） FAX：03-3523-7062

〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-21-6 八丁堀 NF ビル 5 階

URL：<http://www.ips.or.jp>