

異業種間競争と技術融合による環境産業の創出

Environment industry creation by interindustry competition and technology fusion

玄場 公規*

Kiminori GEMBA*

児玉 文雄**

Fumio KODAMA**

ABSTRACT ; Existing research suggests that most of the remarkable innovation process arises from interindustry competition, instead of interfirm competition within one industry. We have a hypothesis that the new industry creation process also arises primarily through interindustry competition and technology fusion. We analyzed the dynamics of interindustry competition of environment industry quantitatively. We used the data on the R&D expenditure for environmental protection and measured "the degree of interindustry competitiveness" using the entropy index. The degree remained low during 1980s, but it has increased since the end of 1980s. This increasing means response to relatively new environmental concerns such as global warming. Using data on R&D expenditure by industry and product field, we formulated a technology fusion graph. We also suggested that policy fusion would be needed for environment industry.

KEYWORD ; new industry, environment industry, interindustry competition, technology fusion, policy fusion

1. はじめに

環境問題は、21世紀に解決が期待されている地球規模の問題である。環境問題の解決には産業界に規制を加えて環境問題の解決を促すという視点のみならず、環境問題を解決する産業を創出するという視点から考えることも重要である。1997年において、閣議決定された「経済構造の変革と創造のための行動計画」では、15の新産業分野の一つとして、「環境関連分野」が掲げられている。この点、新規産業創出支援策を考えるためには、新規産業創出プロセスが明らかになっていなければならない。しかし、従来、わが国では、新規産業創出プロセスという極めて学際的な領域における分析は数少ない。そこで、本研究は、新規産業創出プロセスの一つとして、「異業種間競争と技術融合」を提示し、この概念に基づき、新規産業の一つである環境関連分野において事例分析及び定量分析を行う。そして、環境産業を創出するためには、技術の融合に伴い、産業の融合が必要であり、また、政策においても融合（政策融合）が不可欠であることを論ずる。

2. 環境問題と異業種間競争

2.1 技術のアンロックと異業種間競争

異業種間競争とは、技術論における概念である。異業種間競争は、「同業種内の企業間競争ではなく、異

* 東京大学先端科学技術研究センター ** 東京大学先端経済工学研究センター

* Research Center for Advanced Science and Technology, University of Tokyo

** Research Center for Advanced Economic Engineering, University of Tokyo

業種間に亘って展開される、非連続的な技術進歩を引き起こすような、技術開発競争」と定義される。異業種間競争と技術革新はどのような関係にあるのであろうか。異業種間競争に関わる既存研究を紹介しよう。

技術進歩は一般に既存の技術蓄積に基づいて行われる。Nelson と Winter¹ (1982) は、技術進歩の累積的性質を「自然軌道 (natural trajectory)」という概念により説明した。これは、現時点における研究は、効果的な新技術を生むとともに、将来の研究のために自然な出発点を準備するという考え方である。そして、「自然なバラエティ (natural variety)」と「近傍 (neighborhood)」の概念を提唱した。これは、新技術を開発する技術バラエティがあったとしても、ある有効なシステムがいったん確立されるとその変更を加えるとしても些細なものにとどまるという概念である。すなわち、技術進歩は、ある特定の軌道に従って技術蓄積されるのである。このような経路依存性は、実際の技術開発において頻繁に認められる。しかし、この技術進歩の軌道が最適とは言えない経路に固定化、すなわちロックイン (lock-in) される可能性もある。例えば、新たな環境問題が顕在化し、従来の技術開発の延長では課題解決できない場合には、その自然軌道は最適とは言えず、その軌道を破壊するような革新的な技術群が必要である。Tushman、Anderson² (1986) は、既存の技術蓄積を破壊する非連続的な技術革新を「技術蓄積破壊型 (competence-destroying)」の技術革新と呼んだ。技術進化経路がロックインされ、かつそれをアンロックする必要がある場合には、技術蓄積破壊型の技術革新が必要なのである。続いて、Utterback (1994)³ は、46 個の非連続的な技術革新の事例を収集し、4 分の 3 に及ぶ非連続的技術進歩の事例は、異業種企業によりなされていることを実証した。既存の技術蓄積を破壊し、技術のロックインを解除する技術革新は、異業種企業によって、多くもたらされるのである。

以上を要約すると、技術進歩は、既存の技術蓄積に基づき、ある軌道に沿って行われるが、その軌道が課題解決において、最適とはいえない経路にロックインされてしまった場合には、技術蓄積破壊型の技術革新が望まれる。そして、技術蓄積破壊型の技術革新は異業種間競争によって実現されることが多いのである。

2.2 環境問題における技術革新の必要性

21 世紀以降の人類の生存と繁栄のためには、環境問題の解決が不可避となっている。そして、このような深刻な問題を解決するためには、新しい産業技術の開発が不可欠であると考えられる。特に、人類の生存に関わる深刻な環境問題については、従来の技術の延長ではなく、飛躍的な技術革新が望まれる。この点、前述のように、そのような技術革新は、同業種間の競争ではなく、異業種企業間の競争によって生じされると考えられている。とすれば、環境問題の解決においても異業種間競争が重要であるという仮説を立てることができる。また、一步進んで、環境産業という新規産業を創出するためにも、異業種間競争が重要であるという仮説を立てることができる。この点、日本の先端技術の技術革新については筆者 (1991⁴、1995⁵) の研究があるが、これらの研究では、わが国の代表的な新規産業と考えられるハイテク産業における飛躍的な技術革新が異業種間競争により生じされていることを分析している。

3. 技術融合

ハイテク産業を分析した筆者 (1991) の研究では、20 世紀後半において著しい発展を遂げた先端技術の特徴を説明するため、新たな概念を提示した。それは、技術融合という概念である。技術融合は、メカトロニクスやオプトエレクトロニクス等の先端技術の特徴づける概念である。メカトロニクスは機械技術が電子技術と材料技術と融合し、オプトエレクトロニクスはガラス技術がケーブル技術と電子デバイス技術と融合したことにより創出された。メカトロニクスとオプトエレクトロニクスにおいては、単なる技術の組み合わせではなく、1 + 1 が 3 になるような技術レベルの向上があり、それゆえ融合という言葉が適当なのである。

技術融合は、単なる破壊ではなく、不連続かつ新しいシステムの誕生をもたらすものである。前述のように異業種間競争は、新しい技術開発における必要条件であるが、破壊のみでは新しいシステムは構築されない。旧システムとの融合により新システムの構築がなされることが考えられる。そこで、新規産業は、異業種間

競争及び技術融合によって生起するプロセスであるという仮説を提示することができる。

以下では、異業種間競争及び技術融合という観点から、環境産業の分析を行う。さらに、環境産業の創出には、技術の融合のみならず、産業の融合が必要と考えられる。後述の廃棄物問題等においては、社会インフラ整備が必要であるが、これは、単なる産業間の連携では成功しない。各産業で培った産業技術のみならず、経営・情報のノウハウが融合することが望まれるのである。

4. 事例分析

異業種間競争及び技術・産業の融合とは具体的にはどのようなものを指すのであろうか。ここでは、通産省によって提案されたりサイクルマインパーク構想を例にとりて説明しよう。

リサイクルマインパーク構想とは、通産省が提唱した構想で、その意義としては、「鉱山・精錬所が有する施設、技術、ノウハウ等の積極的な有効活用を図り、地域コミュニティと調和しつつ、廃棄物の徹底した再資源化、無害化、減溶化等のリサイクル事業を推進しようとする」（財団法人資源環境センター「平成7年度リサイクルマインパークモデル事業事前調査報告書」）構想である。現在、廃棄物問題は、わが国における最も深刻な環境問題の一つである。本構想は、大量に埋め立て処分されているシュレッターダストを非鉄金属精錬所における精錬工程により、可能な限りの資源をリサイクルし、最終処分量を減少させることを意図している。この動きは、廃棄物処理問題の解決に向けて、従来、主として関わってきた環境プラントメーカー、廃棄物処理業者とは全く異なるアプローチによって、非鉄金属産業が廃棄物処理業に参入する試みである。すなわち、本論文の概念で言えば、非鉄金属産業による異業種間競争が起きているということが出来る。一方、非鉄金属産業で蓄積された技術のみで本構想が成功するわけではなく、多くの技術革新が必要である。例えば、非鉄金属産業は、高度な熱処理技術によって、金属を抽出する能力は高いが、シュレッターダストには多くのプラスチック類が含まれており、精錬する前に非鉄金属の濃縮が必要である。しかし、これらの技術は、非鉄金属産業において蓄積された技術ではなく、新たな技術革新が必要である。また、シュレッターダストの輸送技術、最終残さとなるスラグの利用拡大等の技術的課題は多く、異業種で蓄積された技術との融合が必要である。さらに、本構想は、自動車メーカー、家電メーカー、解体業者、シュレッター業者、廃棄物運搬業者、廃棄物処理業者、スクラップ業者等の多くの産業が関わっている。本構想が成功するためには、産業間の単なる連携というよりも、相互のノウハウ・情報を融合させた産業融合により、新たな社会システムを構築することが不可欠と考えられるのである。

5. 研究開発投資データによる定量分析

5.1 異業種間競争の分析

異業種間競争が重要だとする理由は、飛躍的な技術革新のためには、技術のバラエティ（多様性）が確保されることが必要であるということである。そのバラエティの中から新たに飛躍的な技術革新が登場し、新たな技術システムが構築される。そして、一端新たなシステムが登場すると、その後の技術変化は些細なものに止まり、技術のバラエティは収束することになる。

環境問題においても、公害問題への対応が迫られた1970年代には、産業技術のバラエティが必要とされたと仮定できる。そして、新しい技術システムが登場し、技術的課題が解決されると、産業技術のバラエティは収束する。一方、1980年代後半において、地球環境問題等の新たな問題が生起すると、技術のバラエティが再び必要になったと仮定できる。

以上のような異業種間競争のダイナミズムを実証するため、定量分析を行う。データベースは、総務庁統計「科学技術研究調査報告」である。この統計には産業別に「環境保護」に対する研究開発投資額が集計されている。すなわち、わが国において、環境保護という目的のために各産業がどの程度研究開発投資を行っ

ているかが分かる。そして、表 1 のように環境保護に向けた投資額の業種別構成比が把握できる。例えば、1994 年度において、鉄鋼業は 35 億円の研究開発投資を行っているが、製造業全体では 1,656 億円の研究開発投資が行われており、研究開発費の構成比は 2.1%ということになる。

産業技術におけるバラエティとは多様性であると同時に不確実性である。どの産業技術が新しい技術システムを構築するのか未だ不確実であるが故に、産業技術のバラエティがあり、異業種間の競争が起こる。新しい技術システムが確定すれば、バラエティも不要となり、競争は収束する。そこで、バラエティを表す指標として、情報理論における不確実性を表す指標であるエントロピー値を用いる。エントロピー値は、研究開発費の産業別構成比により算出する。エントロピー値が上昇すれば、各産業の投資構成比がばらついていることになり、産業技術のバラエティが増加したと言える。その逆にエントロピー値が減少すれば、特定の産業が研究開発を行っているのであり、バラエティが減少している。エントロピー値は、各産業の投資構成比を次のように加工して求める。

表 1. 研究開発投資の業種別シェアの概念図（単位：百万円）

業種分類	1994年度(投資額)	1994年度(構成比)	1995年度(投資額)	1995年度(構成比)
*****	*****	*****	*****	*****
窯業	4513	2.7%	4045	2.3%
鉄鋼業	3452	2.1%	6294	3.5%
非鉄金属	840	0.5%	735	0.4%
*****	*****	*****	*****	*****
合計	165587	100%	178371	100%

【エントロピー値の定義】

$$P_i = i \text{ 産業の研究開発投資の投資構成比とし、エントロピー } E = - \sum_i P_i \times \log_2 P_i$$

エントロピー値の上昇は、さまざまな業種が環境保全投資に参加しているということであり、環境保全技術という分野における異業種間競争の程度を表していると解釈できる。逆に、エントロピー値が減少すると異業種間競争が沈静化したということが出来る。エントロピー値の推移を図 1 に示す。

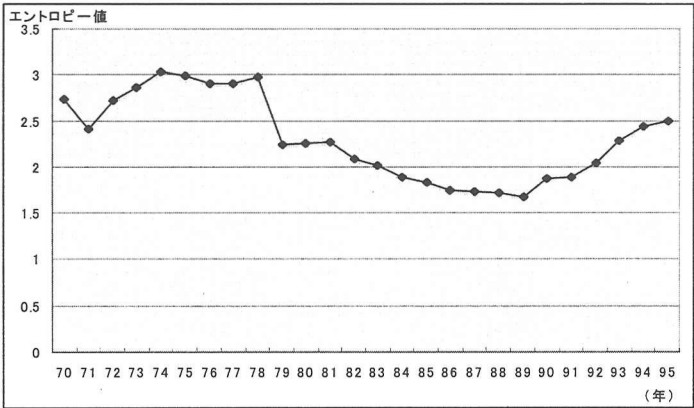


図 1. 環境保全投資の異業種間競争エントロピー値

(資料) 総務庁「科学技術研究調査報告」から作成

図 1 によると、1971 年以降 1978 年までエントロピー値は高い水準を維持している。これは、昭和 45 年(1970 年)の公害国会の後、多くの産業が環境保全の必要性に迫られた時期である。エントロピー値が高いということは、多くの産業が研究開発投資を行っていたことを示しており、異業種間競争が激化した時期と解釈で

きる。そして、公害問題への解決が図られ、技術開発が一段落した昭和 53 年（1978 年）以降急速にエントロピー値は低い水準となっている。しかしながら、1980 年代後半からは、エントロピー値が再度上昇している。これは、近年、地球環境問題等の対応に向けて、多くの産業が再度環境保全投資を行い、異業種間競争が起きていると解釈できる。すなわち、1970 年代後半は、環境（公害）問題への対応により、業種を超えた産業技術のパラエティが必要とされ、異業種間競争が激化した。そして、1980 年代に入り、対応技術が登場して問題が解決された後、異業種間競争が沈静化した。しかし、その後、新たに地球環境問題等への対応が必要となり、再び異業種間競争が激化したのである。

以上の定量分析は、環境問題においても、新たな技術システムが登場するためには、異業種間競争が重要であることを定量的に示唆したものであると考えることができる。

5.2 技術融合の分析

本研究では、前述の総務庁統計「科学技術研究調査報告」における産業別製品分野別の研究開発費のデータにより、技術融合の定量分析を行った。この統計では、各企業が製品分野別に投資している研究開発費を産業別に集計している。例えば、新日鉄あるいは川崎製鉄などの鉄鋼メーカーは鉄鋼製品以外の分野に化学・電気機械等の分野にも研究開発投資を行っているが、それを鉄鋼産業に属する企業で集計するのである。

技術融合の分析では、各産業から異分野への研究開発投資の大きさに着目した。複数の産業で相互の分野への研究開発投資が双方向で一定値（しきい値）を超えた場合に、融合現象が起きていると仮定する。なぜなら、複数の産業技術が融合する技術革新が登場することによって、それぞれの産業は相互に多くの研究開発投資を行うと考えられるからである。しきい値の求め方の詳細は省略する（児玉（1991）を参照）が、各産業の異分野への投資額の分布を確率分布とみなし、投資を放棄する確率が一定値以下となる投資額をしきい値とした。そして、例えば、一般機械産業から電気機械製品への研究開発投資及び電気機械産業から一般機械製品への研究開発投資がしきい値を超えている場合には、両産業を線で結ぶことにより、融合グラフを作成した。図 2 は 1975 年の技術融合グラフである。例えば、「食品」、「医薬品」、「総合科学」の三産業間は結合しており、技術融合によりバイオ技術が登場していると解釈できる。環境との関連で考えると、「一般機械」と「その他化学（主として、化粧品メーカー、農業メーカー等が入る）」の結合が認められる。環境装置は、産業装置であり、一般機械の範疇に入るが、その処理の多くは、化学反応に依拠している。そこで、化学と機械の技術融合は、環境装置の登場により促進されたと解釈できる。さらに、前述の異業種間競争の分析におけるエントロピー値が減少した後の時期として、1983 年の融合図を示した。ここでは、電機機械、一般機械、その他化学の結合が認められる。これらの結合の全てが環境装置によるものであるとは言えないが、大気汚染防止装置等において、物理的な処理を電気制御によって行う環境装置も多く登場していることから、環境装置によって、さらなる融合が促進されたという解釈が可能である。

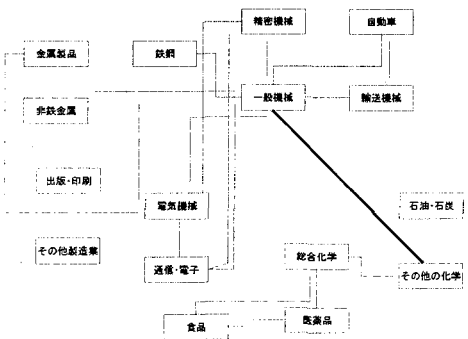


図 2 1975 年の技術融合図

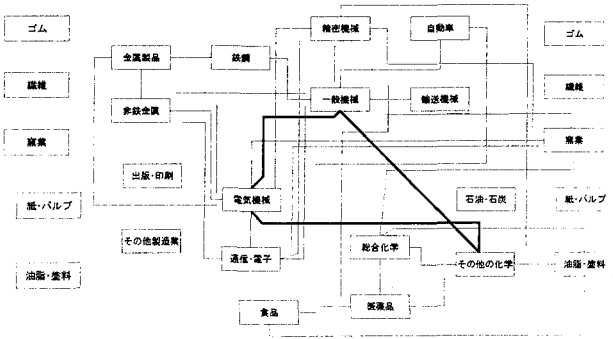


図 3 1983 年の技術融合図

6. 政策融合の必要性

環境保全投資における異業種間競争の定量分析により、環境問題が深刻化し、それを解決する時期には異業種間競争が激化していることが実証された。これは、既存の技術進歩の延長上にある技術開発のみでは解決できない新たな環境問題に対しては、産業技術のバリエーションが確保されることが重要であることを示唆している。また、リサイクルマインパーク構想の事例にあるように、異業種間における技術及び産業の融合も重要と考えられる。従来、一般に新規産業の創出にはベンチャー企業の育成が重要とされてきた。しかし、全ての新規産業分野において、ベンチャー企業の活躍を期待することはできない。特に、環境問題を解決するためには、新たな社会システムを構築することが必要であり、大企業を主体とした技術の融合・産業の融合も必要不可欠と言うべきであろう。そして、産業の融合によって、新しい社会システムを構築するためには、行政の役割は決して小さくない。リサイクルマインパーク構想は、通産省によって提案されたが、この構想が実現するためには、厚生省、環境庁、地方自治体等多くの行政機関が協力する必要がある。そして、技術の融合あるいは産業の融合が不可欠であるのであれば、縦割りで産業を所管している現在の省庁が別個に政策を立案すべきではない。すなわち、各省庁の政策が融合することが望まれるのである。

本研究では、政策融合の必要性を定量的に示す一つの分析を試みた。平成9年版度環境白書では、環境問題に関する情報量を表す指標として新聞記事量を分析している。本研究は、この新聞記事量という定量データを用いて分析を行った。表3は「環境保全」と各省庁をキーワードとした新聞記事数である。表の一番右の欄は、「環境保全」と各省庁を「AND」検索した場合の記事数である。例えば、「環境保全」及び「環境庁」をキーワードとした記事数は1987年で57件、1997年では151件である。そして、興味深いのは、さらに「通産省」を加えた記事数、すなわち、「環境保全」AND「環境庁」AND「通産省」で検索した記事が1987年で2件だったものが、1997年では20件に達している。今回の分析は試みとして「環境保全」のみをキーワードとしたため、実証データとしては少ないが、各省庁が単独で出てくる記事数の増加と比べて、「環境庁」「通産省」「厚生省」等においては、複数の省庁が同時に出てくる記事数の増加が著しいことが分かる。

政策融合に関する分析は今後の課題となるが、環境問題のような複雑であるが人類の生存をかけた深刻な問題においては、革新的な政策が必要であり、そのためには政策融合が不可欠であると言うべきであろう。

表2. 「環境保全」と各省庁をキーワードとした記事件数

省庁	通産省		厚生省		農林省		運輸省		建設省		記事数	
	1997	1987	1997	1987	1997	1987	1997	1987	1997	1987	1997	1987
環境庁	20	2	5	1	6	0	1	2	3	2	151	57
通産省			4	1	2	0	1	0	2	0	93	16
厚生省					2	0	0	0	2	0	28	3
農林省							1	0	6	0	40	8
運輸省									2	1	16	6
建設省											34	23

(注) 日経テレコンの新聞記事検索により日経四紙における記事数

¹ Nelson R. and Winter S(1982) An Evolutionary Theory of Economic Change,; Harvard University Press
² Tushman M. and Anderson P(1986) Technological Discontinuities and Organizational Environments ; Administrative Science Quarterly 31, p439-465
³ Utterback J(1994) Mastering The Dynamics of Innovation; Harvard Business School Press, p203-211
⁴ 児玉文雄(1991) ハイテク技術のパラダイム;中央公論
⁵ Fumio Kodama (1995) Emerging Patterns of Innovation, Sources of Japan's Technological Edge; Harvard Business School Press