

学術論文情報を用いた法令・制度の影響評価分析 ～電力分野のケース～

西牧聖矩^{†1} 大知正直^{†1} 浅谷公威^{†1} 森純一郎^{†1} 坂田一郎^{†1}

概要：技術の評価の決定に関与する要素は、技術、市場、法制度と言われている。その中でも法制度は非常に大きな影響力を持つが影響力はそれぞれで大きくことなる。影響力は法律の形式的な情報だけでは評価できないため、本論文では法制度が関与していると考えられる分野の研究論文の書誌情報を用いて、法制度の影響評価方法を提案した。その結果、法令、政令、省令が同時に改正される場合、広範囲の学術論文に対して大きな影響を与えることが分かった。

キーワード：技術評価、学術論文評価

1. 背景および目的

本論文では法令や政府制度が社会に与えるインパクトを法令と学術研究の関連性の分析により検証する。法令は、企業・大学などの研究に影響を与えることが知られており、重要視されている。例えば韓国におけるデジタルマルチメディア放送では法令が正の影響をあたえて技術開発のトレンドを後押しした[1]が、原子力発電の分野では法令が研究技術開発に歯止めをかけているという分析もある[2]。

特に近年では、AI 領域の手法の発達により、自動運転やロボット技術などの先端技術は過去の想定を上回る速さで開発されている。その基盤技術であるディープラーニングをはじめとした人工知能関連技術は高い頻度で手法が提案され、数年のうちに想定される応用先や実現の可能性が大きく変化している。産業界はこのような新しい技術に対して早期に反応し投資・技術開発を行っている。日本企業が関わる例をあげると、AI を用いた自動運転分野はトヨタとベンツが共同出資をして5年間に10億ドルもの投資をアメリカシリコンバレーで開始した[3]。このように、迅速な新しい技術の発展はその応用可能性を想定以上の速度ですすめるとともに、産業界からの多額の投資を生んでいる。

このような、技術の可能性が急速に広がる状況のもとでは、その可能性の恩恵を享受しつつ利用者の安全を確保する仕組みの作成が必要である。例えば、自動運転であれば、自動運転技術の安全性の保証の担保の方法や事故の際の責任の所在などを仕組みとして作成する必要がある[4]。このような仕組みは法令として整備される。産業界の各企業の技術開発や商品はその法令の制約を大きく受けるため、産業技術の振興には安全を確保するという条件下で競争力のある技術開発や商品を後押しする法令が必要である。さらに、AI 領域をはじめとした技術の刷新が早い業界では、最新の技術トレンドを反映した迅速な法令の整備が必要とされている。特にAI 領域はアメリカ・イスラエル・イギリス

などをはじめとした各国で技術開発が行われており国際的な競争力の維持のために特に迅速な法令の整備が必要である[5]。また、AI のみならず、Crisper-cas9 を初めとしたバイオ技術なども急速な発展があり、このような領域でも同様に技術開発に正のインパクトがあり迅速な法令の整備が必要である。

以上より、技術開発の国際的な競争力の維持のためには、1. 社会的に価値のある技術開発の進展に正のインパクトのある法令を発行すること、2. 最新の技術トレンドを反映した迅速な法令の整備が必要となる。本研究ではこのような方針の法令の発行が行えてきたかを過去に遡って検証していく。

先行研究において、技術開発への各法令の影響の定量的で大規模な検証は行われていない。たとえば、法令の技術開発へのインパクトの検証方法はケーススタディが一般的であった。しかしながら、法令の有効性に関する定量的もしくは網羅的な研究はない。また、2. 法令が産業界のニーズを反映しているかに関しては、Shin, D. H. らが韓国においてダイレクトマルチメディアブロードバンドが発達した原因が韓国政府の法規制によるものとの結果を得ているが[1]、定量的な評価は行われていない。

本研究では、学術論文のデータを用いて法令の影響力を検証する。一般企業の業績や市場における製品の販売の増減よりも、学術論文(=先端技術研究) は法令・制度への感度が高く、先見性がある。これはイノベーションのリニアモデルを前提とすると、市場に出る製品の根本は技術研究であり、法令・制度に対して感度が高くなければ市場に製品を販売することが難しいからである。例えば太陽光発電に関する事例を考える。世界的にみると、太陽光発電に対する強力な導入支援策は、2001年のドイツの再生可能エネルギー法制度(EEG)、2007年のスペインの勅令661/2007、2012年施行の日本の再生可能エネルギー特別措置法等として講じられてきたが、現在まだ本格的な市場化には至っ

^{†1} 東京大学工学系研究科技術経営戦略学専攻
The University of Tokyo, Graduate School of Technology Management for

ていない次世代の太陽光(色素増感, 有機太陽電池)に関する学術研究は, 2000 年代に大きく増加しており[6][7], 制度が形作る世界のイノベーション環境に対する学術コミュニティの感度が高いことを示している。

学術論文全体の集合を分析することにより, 問題意識(=産業界のニーズ)と技術開発の結果(=技術開発トレンド)に関する知見が得られる。この学術論文のデータを時系列に分析したものと法令・制度の制定・改正のタイミングと内容を比較することにより, 各法令の技術開発へのインパクトならびに各法令が産業界のニーズに迅速に反応しているかに関して検証することが可能である。

本研究では, WoS のデータをつかって, 計量書誌学の手法を応用し独自の指標を設定することで法令がどのように影響を及ぼしているかを論文発行数の面から分析する手法を提案した。電力分野を対象に分析を行い, 結果として, 法令・制度の影響度を学術論文の出版数によってある程度測定できることが分かった。

2. 目的

以上をまとめると本研究の目的は以下ようになる。本研究の目的は, 学術論文のデータを用いて産業界の各法令の有効性の測定手法を提案し検証することである。特に, 1. 技術開発の発展に正のインパクトのある法令を発行, 2. 最新の技術トレンドを反映した迅速な法令の整備といった観点から分析を実施する。

3. 提案手法

3.1 提案手法の概要

本研究では学術俯瞰の手法によって法令・規制の影響力を分析する。最初に論文データを Web of Science から取得する。次に取得したデータを用いて引用ネットワーク分析を行い, 論文群のクラスタリングを行う。次に評価したい法令改正と内容的に関連性があると考えられるクラスタを特定する。その後, 影響力を評価する指標として独自に設定した B. Impact と F. Impact を算出し, 影響力を評価する。算出する指標については後に詳述する。

本論文では法令・制度と学術論文の間の内容的関連性を細かく理解するために, 学術論文データをクラスタリングし, 各々のクラスタの内容を法令・制度の内容と照らし合わせて関連するか否かを定める。このクラスタリングの際には, 梶川らが開発した学術俯瞰システムを用いる[8]。学術俯瞰システムは学術論文の引用データをもとにネットワークを形成し, 可視化を行う論文は学術研究の成果の形であり, 学会における研究成果は全て論文の形で世界に発信される。それゆえ世界各国の技術の進歩の評価の一つとして国で出版された論文数を指標とする評価がある。ここで製品開発プロセスを考える。このモデルは大きく二つ, リニアモデルと連鎖モデルがある。リニアモデルは, 「研究

→「開発」→「設計」→「製造」→「販売」のプロセスを経て新製品の創出が起こるというものである。このモデルにおいて学術的な「研究」段階から社会へ製品を提供する「販売」段階までは短くない時間がかかると考えられる。

ここで, 社会に新たな法令・制度が発表されたと仮定する。この法令・制度が大きな影響力を有するものだった場合, 最も影響を受けるプロセスは「研究」段階である。したがって, 学術論文出版数を指標にすることは妥当性があると考えられる。

3.2 法令・制度の影響の前方性と後方性について

法令・制度の施行年度と, 学術論文出版数が変化する期間について考えていく。まず法令・制度の施行までの流れを示す。法令・制度の施行は, 「法律案の原案作成」「内閣法制局における審査」「国提出のための閣議決定」「国会における審議」「法律の成立」「法律の公布」「法律の施行」のプロセスを踏む(内閣法制局参照)。ここで施行された法令・制度が論文数に対して与える影響は2つあると考えられる。一つは法令・制度の施行によって, 施行以降の論文出版数が変化を受ける前方性の影響だ。科学技術に関する法令・制度が施行されると, その時点で社会の制度が変わりそれに伴い学者の関心は変化するため, 学者の研究成果である論文の出版数は変化する。そしてもう一つが法令・制度が施される前に論文出版数に影響を与える後方性の影響だ。上で述べた法令・制度の施行までのプロセスは政府が秘密裏に行うものではなく, 各プロセスはマスコミなどによって情報が報道される。また「法律案の原案作成」段階などにおいて法令に関係する専門家などから意見を聞く諮問会なども開催されるため, 関係者は施行前に法令・制度について知ることができる。特に科学技術に関する法令・制度の場合は大学や企業からその技術の専門家を召集し意見交換をするため, 論文を書く学者は法令・制度について施行前に知ることができる。故に法令・制度は施行前であってもその法令に関連するステークホルダーに影響を与えると考えられる。そこで本論文では, 法令・制度が施行される前に論文数に与える影響を, 後方性の影響と定義し, 上記の2つの影響を以降考えていく。次に法令・制度の前後方性の影響がどれだけの期間の論文の出版数に影響を与えるかについて考える。

3.2.1 前方性の影響について

前方性の影響は, 前述の通り法令・制度の影響によって社会に変化が起こりそれに伴う形で学者の興味の対象が変化する影響である。改正を含めると一つの法令・制度が数年のうちに変化をしていく。期間を長く取るとある法令・制度の影響と, 他の法令・制度の影響が混じり合うため影響度の評価に適さない。これら2つを考慮し, 本論文では前方性の影響評価に際しては施行年度より3年後までを施行された法令・制度の影響とした。ゆえに前方性の影響の評価については以下の式で与えられる増加率を用いるこ

ととする。

$$F.Impact_t = \frac{P_{t+3}}{P_t} - 1$$

ただし、 $F.Impact_t$ は時点 t 年に施行された法令・制度の前方性の影響度を表し、 P_t は時点 t 年における論文出版数を表す。

3.2.2 後方性の影響について

後方性の影響は、法令の施行プロセスにおける情報から来る影響である。その影響が現れる期間として3年と定義した。後方性の影響の評価については以下の式で与えられる増加率を用いることとする。

$$B.Impact_t = \frac{P_t}{P_{t-3}} - 1 = F.Impact_{t-3}$$

ただし、 $B.Impact_t$ は時点 t 年に施行された法令・制度の後方性の影響度を表す。

以上のことから本論文では、 $F.Impact$ と $B.Impact$ の二つの指標を基に議論を進めていく。

4. データ

4.1 法令のデータ

本論文において実験の対象となる法令・制度の情報は必要な条件は、ある技術分野に関する法令・制度全てを十分に網羅できていることである。ある技術分野の法令・制度の網羅性は、それらの影響力を考える上で必要である。そこで本論文では、分野を電力と定め、経済産業省エネルギー庁のホームページを参考にして電力分野の関連法案を洗い出し、さらにそれらの法令・制度の改正履歴も全て洗い出すことで、網羅性を担保した。

4.2 論文のデータ

本論文において論文データの取得はトムソンロイター社の Web of Science に関連するクエリを入力することによって行った。

5. 実験

$F.Impact$ と $B.Impact$ の指標を用いて法令・制度を分類した。この際、法令・政令・省令はある目的を達成するために組み合わせて改正・制定され、なおかつ同じ年に行われた改正で内容に関連性のある法令・政令・省令はある目的を達成するための法令であると仮定し、同一年度の関連性のある法令・政令・省令は一まとめにして評価するものとする。

5.1 風力・火力・バイオマス発電に関する論文と法令

2011年における $F.Impact$ と $B.Impact$

	風力発電に関する全論文		火力発電に関する全論文		バイオマス発電に関する全論文	
	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact
2011	0.299	0.039	0.142	-0.564	0.478	0.654

風力発電の各クラスタの Impact

	風力発電クラスタ 1		風力発電クラスタ 2		風力発電クラスタ 3		風力発電クラスタ 4	
	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact
2011	-0.2531	-0.0058	0.1247	0.2722	0.0935	0.5266	0.3390	0.1874

2011年のバイオマス発電の各クラスタの Impact

バイオマス発電クラスタ 1		バイオマス発電クラスタ 2		バイオマス発電クラスタ 3	
F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact
0.5437	1.1627	2.2805	-0.4911	0.1903	0.5296

以下、風力発電、バイオマス発電、火力発電の影響について順に論じていく。

風力発電、バイオマス発電において $F.Impact > B.Impact > 0$ となっており、両者ともに成長傾向の影響を受けている。火力発電に至っては $F.Impact > 0$ 、 $B.Impact < 0$ となっており、この改正が大きな成長要因となっている可能性がある。

バイオマス発電のクラスタごとの Impact を見ていく。

「2011年のバイオマス発電の各クラスタの Impact」に数値を示した。この改正と関係が深いと考えられるのはクラスタ 2 である。バイオマス発電における木質燃料の効率的なガス化によって環境に与える影響が下がるからだ。この研究は、改正前は減少傾向にあったが、改正後急激に研究されるようになっていく。

2011年のバイオマス発電の各クラスタの Impact

バイオマス発電クラスタ 1		バイオマス発電クラスタ 2		バイオマス発電クラスタ 3	
F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact
0.5437	1.1627	2.2805	-0.4911	0.1903	0.5296

最後に火力発電のクラスタごとの Impact を見ていく。

「2011年の火力発電の各クラスタの Impact」に数値を示した。火力発電においてこの改正>と最も関わりがあるものはクラスタ 1 である。クラスタ 1 は火力発電所における排熱を有効活用するための技術研究であり、排熱の有効活用は最後にこの改正についてまとめる。風力発電、バイオマス発電、火力発電に対して、この改正は研究を促進する正の影響を持つことがわかる。

2011年の火力発電の各クラスターの Impact

	火力発電クラスター 1		火力発電クラスター 2		火力発電クラスター 3		火力発電クラスター 4	
	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact	F.Impact	B.Impact
2011	2.1243	-0.5638	-0.0603	-0.5668	1.3493	0.0197	0.2529	-0.5630

ここで風力発電は B.Impact が強いことに対して、バイオマス発電、火力発電は F.Impact が強いことについて議論をする。この差異については風力発電が改正とは関係なく注目され研究がなされていたのに対し、バイオマス発電、火力発電に関する研究は注目されていなかったことが原因と考えられる。当時の前者はエマージングな技術と認識されており、風力発電を研究する学者は多かったと考えられる。研究している学者が多いということは、この法改正に対して反応を示す人間が多いということである。ゆえに法改正の情報に敏感に反応し、その結果 B.Impact が大きくなったと考えられる。

対してバイオマス発電はこの頃から注目が集まってきてはいたものの、風力発電よりも注目度は低く研究者の数も少なかったため、改正後に影響が出て F.Impact に影響を与えたと考えられる。火力発電に関しては、そもそも十分研究がなされていた分野であり研究者が少なかったと考えられ、改正の影響が発現したのがこの改正が施行された後だったと考えられる。このようにある法令・規制の影響が様々な技術に対して全て正の影響だった場合、F.Impact と B.Impact のどちらが主な影響となるかはその分野の法令・規制に対する感度で決定され、その感度はその分野を研究している研究者の数に依存していると考えられる。

6. まとめ

本論文では指標 F. Impact と B. Impact の二つを用いて法令である電気事業法の改正を基軸としたポリシーミックスの影響評価と、法令の改正を伴わない政・省令の改正の影響評価を行った。本論文で結論を得たことは次の3つである。

1. 法令、政令、省令が同時に改正される場合、広範囲の学術論文に対して大きな影響を与える。
2. 対して法令改正を伴わない政令、省令の改正の場合、改正内容が直接的に関係している論文にのみ影響を与える。この時の影響の大きさは、法令、政令、省令が同時に改正された場合と比較しても変わらない。
3. 法令、政令、省令の改正によってある分野の学術論文に影響がある場合、影響の出方として、多くの研究者がすでにその分野として研究をしている場合は実際に改正がなされる前に影響が出る。対してその分野の研究が改正時に多くなされていない場合は、改正後に影響が現れる。

本研究では電気事業法を中心とした法令・制度にのみ言

及したが、今後の展望としては以下のことがある。

1. この指標を用いて他の分野へも応用し指標の価値を確認する。
2. 本研究では日本の法令・制度についてのみ言及したが、諸外国についての法令・制度についても有効性があるか確認する。
3. 法令、政令、省令の内容と学術論文の内容の関係性の判定を本研究では主観的に行ったため、結果にバイアスが存在する。これを解消するために、機械学習を用いて内容の関係性を判定できるように改良する。

参考文献

- [1] Shin, D. H. (2006). Socio-technical challenges in the development of digital multimedia broadcasting: A survey of Korean mobile television development. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(9).
- [2] Sugiyama, M., Sakata, I., Shiroyama, H., Yoshikawa, H., & Taniguchi, T. (2016). Research management: Five years on from Fukushima. *Nature*, 531, 29-31.
- [3] Gurney, J. K. (2013). Sue my car not me: Products liability and accidents involving autonomous vehicles.
- [4] N. Shibata, Y. Kajikawa and I. Sakata, "Extracting the commercialization gap between science and technology", *Technological Forecasting and Social Change* 77(7) (2010) 1147-1155.
- [5] I. Sakata and H. Sasaki, "Scientific catch-up in Asian countries: a case for solar cell", *Natural Resources* 4(2013)134-141.
- [6] Kim, S., & Kim, S. (2016). A multi-criteria approach toward discovering killer IoT application in Korea. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 143-155.
- [7] Boon, W. P., Aarden, E., & Broerse, J. E. (2015). Path creation by public agencies—The case of desirable futures of genomics. *Technological Forecasting and Social Change*, 99, 67-76.
- [8] Kajikawa, Y., Ohno, J., Takeda, Y., Matsushima, K., & Komiya, H. (2007). Creating an academic landscape of sustainability science: an analysis of the citation network. *Sustainability Science*, 2(2), 221.
- [9] Stephanopoulos, G. et al. (1998). *Metabolic Engineering Principles and Methodologies*. Academic Press; 1 edition.