



Science & Technology Trends

科学技術動向

3-4

2013
No.134

レポート・トピックス タイトルをクリックすると 各項目にジャンプします

レポート

p2,13

米国国立科学財団（NSF）の評価基準の改訂
—基礎科学研究活動が潜在的に持つ社会的インパクトに関する新たな理念の提示—

p3,20

研究論文の影響度を測定する新しい動き
—論文単位で即時かつ多面的な測定を可能とするAltmetrics—

p4,30

ポーター仮説とグリーン・イノベーション
—適切にデザインされた環境インセンティブ環境規制の導入—

p5,40

2012年の世界の衛星打上げ動向

p6,46

科学的合理性のあるスポーツ教育に向けて
—TQC（トータルクオリティコントロール）の導入事例—

トピックス

p7

イオン層の隙間に電子層が生じる
2次元エレクトライドを発見

p9

災害時にも迅速かつ安全な
被災者支援業務のクラウドサービス

p11

広範囲に散在するナノ粒子を
検出できるオンチップ顕微鏡

p8

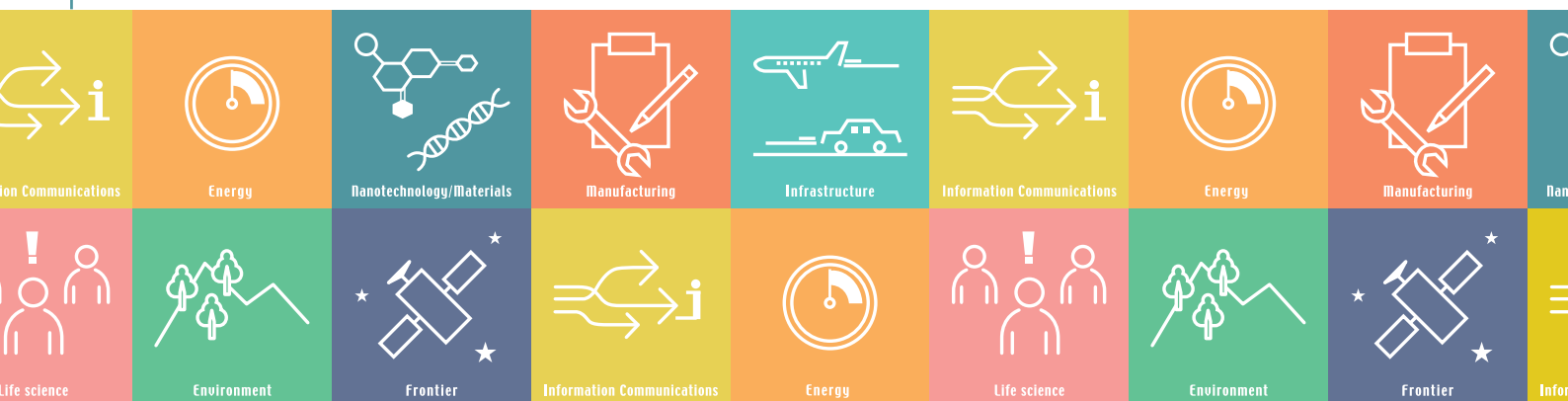
過去最大の新たな素数を発見

p10

年齢とイノベーション
関連能力の関係

p12

2020年のデジタルデータ量は
40 ゼタバイトに拡大と推定



米国国立科学財団（NSF）の評価基準の改訂 —基礎科学研究活動が潜在的に持つ社会的インパクトに関する新たな理念の提示—

米国国立科学財団（National Science Foundation: NSF）は、その支援を行う基礎科学、工学分野の研究、教育プログラムへのプロポーザルに対する評価に用いるメリットレビュー基準（merit review criteria）を改訂し、2013年1月14日から適用した。

NSFのメリットレビューの基準は、1997年から現在に至るまで、「知的メリット」と「より幅広いインパクト」の2つの評価基準が用いられているが、2つのうち、「知的メリット」評価基準はプロジェクトを立案する研究代表者にとっても評価を行うレビュアーにとっても馴染みやすいものと言われているが、「より幅広いインパクト」評価基準については、例えば研究代表者からは本来的な研究活動から外れた活動と感ぜられるとの意見が示されるなど、その取り扱いの難しさが指摘されていた。

また、2011年1月4日に成立した「2010年アメリカCOMPETES再授權法」においては、この「より幅広いインパクト」評価基準をとおして達成すべき目標として、米国の経済競争力の向上等、計8項目が示された。

このような状況においてNSFは、2010年にNSFに対する助言機関でもある国家科学審議会（National Science Board-NSB）に置かれたタスクフォースにその改訂の検討を依頼した。これに対しNSBは多くのステークホルダーからの意見等を取り入れ、また、競争力強化法やNSFの戦略計画を参照し改訂案を作成しNSFに提出した。

NSFは、この改訂案に基づく新たなメリットレビュー基準を策定し、2013年1月から適用した。新たなメリットレビュー基準は、「知的メリット」と「より幅広いインパクト」の2つの評価基準を用いることに変わりはないが、双方の基準は総体として社会的目標に貢献すべきである等の原則に基づく、新たな理念が示されている。

本稿においては、NSBによる改訂案作成の検討を参照しつつ、今回のメリットレビュー基準の改訂の意味を明らかにすることを試みる。

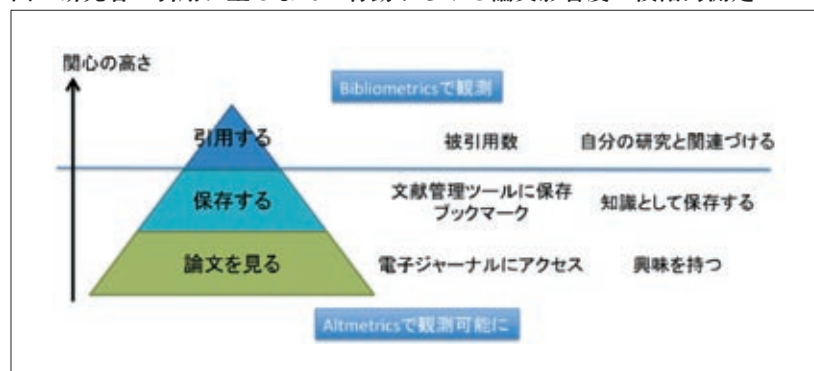
研究論文の影響度を測定する新しい動き —論文単位で即時かつ多面的な測定を可能とする Altmetrics—

研究開発においてグローバル競争の加速や競争的研究資金の増加を背景に、研究成果の定量的評価に関心が高まっている。現在、個々の研究論文の評価では被引用数の利用が一般的であるが、被引用数とは異なる手法によって論文単位で影響度を指標化する手法「Altmetrics」(Alternative Metrics) に注目が集まっている。

Altmetrics は、論文やデータセットなど様々な研究成果物の影響を、ソーシャルメディアの反応を中心に定量的に測定する手法と、その手法を用いて新しい研究の影響度を測定する活動を指す。論文評価に関しては、測定データの組み合わせにより、論文単位で多面的・複合的定量評価の可能性につながる影響度を測ることができる。論文公開後の twitter などソーシャルメディアの反応の定量化によって、社会的影響度や専門家からの評価・利用状況を即時に測定し、論文の様々な「今の」反応が公開直後から計量可能なため、被引用数増加の先行指標や技術予測等を支援・補完する評価手法となりうる。研究者の引用行動は、論文を閲覧し必要な知識として保存、論文執筆の際に自分の研究と関連づけて引用するが、閲覧や保存の過程も測定可能で、専門家への影響度をより広範囲に測ることができる。また、引用頻度が多くない分野や引用関係が把握しにくい和文論文に関してもより有効である。

電子ジャーナルの時代になり文献管理ツールと SNS の連携などにより、論文ごとの閲覧数・参照数やコミュニケーション状況のデータ取得が容易になり、さらに、オープンアクセス（OA）化の浸透により、広い分野から大量の論文を集める OA メガジャーナルが一定の影響を持ちつつある。今後、OA と Altmetrics の組み合わせが、従来の商業出版社のジャーナルの査読体制と質のコントロールに与える影響に注視が必要である。Altmetrics では、測定不能であった一般社会への影響度などにより複合的評価が可能となり、すでに、世界の主要ジャーナルに採用され、研究パフォーマンス測定ツールにも組み入れられている。研究者・機関や政策担当者は、研究評価や学術情報流通、さらに政策分析や評価にも利用可能なツールとして認識し、それぞれの問題関心に沿ったデータの集計・測定に向けて役立てる必要がある。

図 研究者の引用に至るまでの行動からみる論文影響度の段階的測定



ポーター仮説とグリーン・イノベーション —適切にデザインされた環境インセンティブ環境規制の導入—

環境保全と経済発展の両者を両立させるには様々な困難がある。しかし、環境保全におけるイノベーションによってその両立は可能になる、といった環境分野におけるイノベーションを経済発展・成長に結びつけようという発想が出てくるようになった。

このような発想の典型が「グリーン・ニューディール」で、リーマンショック直前の2008年7月にイギリスの団体が、エネルギー政策の再構築、環境再生事業による雇用の創出などの政策を提言した。また、米国でも環境関連技術の分野で200万人の雇道を創出する「グリーン・リカバリー」が提案された。オバマ候補（当時）が新エネルギー政策としてこの考えを取り入れ、大統領選挙に勝利すると、グリーン・ニューディールという言葉とともに、そのコンセプトが世界的な広がりを見せるようになった。日本でも、2000年代半ば以降は、グリーン・イノベーションが日本の経済停滞からの脱却、そして大震災以降は復興・再生の柱の1つとして位置づけられようになった。

この背景には、1990年代初頭以降に環境規制・政策とイノベーションの関係について幅広い議論をまき起こした「ポーター仮説」がある。ハーバード大学の経営学者マイケル・ポーター教授が表したもので、厳しい環境規制は、技術革新を刺激し、その結果、他国に先駆けて環境規制を導入した国の企業は他国企業に対して競争優位を得る、といった主張である。一般に環境規制・政策は、企業の利益を圧迫し費用負担を押し付けるものであり、企業の競争力を弱めるものと考えられているが、そのような常識に対して一石を投じた。その後、ポーター仮説については、広範な議論を巻き起こし、現在でも議論は続いている。

政府が適切な環境政策を行っていくためには、これまでに導入された環境規制（政策）がイノベーションを促進した事例に関する定性的な分析や、環境規制が企業利益あるいは生産性に与えた影響に関する定量分析をこれまで以上に行うことが必要である。また、ポーター仮説が成立するとしても、その前提となる「適切にデザインされた規制」が導入される条件について、これまでの規制水準決定プロセスに関する検証を行い、イノベーションを促進するような規制水準を設定することができるプロセスのあり方を検討することが求められている。さらには、補助金などの助成政策や政府が自ら行う研究開発もイノベーションに対して大きな影響を与えるといった面もある。規制的な政策と助成政策をどのように組み合わせるかというポリシー・ミックスも、今後の重要な研究課題である。

2012 年の世界の衛星打上げ動向

2012 年は 27 か国 4 機関により計 131 機の衛星が打ち上げられ、そのうち 73 機は有人宇宙飛行および宇宙応用を目的とする実用衛星であった。有人宇宙飛行の分野では 4 か国 1 機関から計 12 機の有人宇宙船や物資補給船が打ち上げられ、宇宙応用の分野では通信放送衛星・地球観測衛星・航行測位衛星が 20 か国 4 機関から 61 機打ち上げられた。

そうした中、2012 年は 2011 年までと比べて各国の宇宙開発動向に顕著な変化が生じている。米国では、米航空宇宙局（NASA）のスペースシャトルが退役し、有人宇宙輸送能力が空白期間に入ったこと、米国民間企業の宇宙船が国際宇宙ステーション（ISS）とのドッキングに成功したこと、中国の有人宇宙船が軌道上の衛星とのドッキングに成功し米ロの有人宇宙技術に追いついたこと、中国のロケット打上げ回数が米国を大幅に上回ったこと、欧州のロケットが大型・中型・小型の 3 機種を使い分ける体制になったこと、東欧諸国などで新たな衛星保有国が増加したことなどがあげられる。特に中国の躍進ぶりは目立ち、宇宙活動の主要国が「米ロ二大国」といわれた時代から「米ロ中三大国」の時代に移行しつつあるといえる。中国は 2011 年から 2015 年までの 5 年間で 100 機の衛星の打上げを計画するなど、一段の飛躍が見込まれる。

日本は第一期水循環変動観測衛星「GCOM-W1（しずく）」と宇宙ステーション補給機「HTV-3（こうのとり 3 号）」を打ち上げ、その他の小型衛星と合わせて保有衛星が計 9 機増加した。さらに欧州宇宙機関（ESA）、インドも保有衛星数を増やしている。この他、欧州・アジア・南北アメリカの諸国でも通信放送衛星および地球観測衛星の保有数が増加した。

2013 年も既にアゼルバイジャンが初の静止通信衛星を保有することとなり、実用衛星を保有することで宇宙開発に参加する国が今後増加していくと見込まれる。

図表 2012 年の保有国別・目的別の衛星打上げ数

衛星保有国別	有人宇宙 飛行 ¹⁾	宇宙応用を目的とする衛星			その他	計
		通信放送	地球観測	航行測位		
米 国	1	5(5)		1	23(1)	30(6)
中 国	1	4(4)	9(1)	6(2)	6	26(7)
ロシア	8	3(3)	1		9(1)	21(4)
日 本	1	1(1)	1		6	9(1)
欧州宇宙機関	1			2		3
インド		1(1)	1			2(1)
その他の国等		18(18)	8(1)		14	40(19)
計	12	32(32)	20(2)	9(2)	58(2)	131(38)

() 内は静止衛星数内訳

注1) 有人飛行には物資補給船を含む。

出典：各種資料を基に科学技術動向研究センターにて作成

科学的合理性のあるスポーツ教育に向けて —TQC（トータルクオリティコントロール）の導入事例—

近年、スポーツ教育における非合理的な指導が問題視されており、その原因の一つとして、指導者の経験則に依存する度合いの大きさが挙げられている。スポーツ教育において、豊富な経験とスキルをもつ指導者の貢献度は高いが、従来のスポーツ教育は指導者の裁量に委ねられるところが大きく、客観性や合理性は必ずしも担保されていないとの指摘がある。

1930年に設立された「航空研究会」を祖とする慶應義塾体育会航空部では、我が国の民間企業で広く取り入れられているTQC（トータルクオリティコントロール）を採用している。当部では、部全体の活動に対する運営管理のためのPDCAサイクルが廻っていると共に、個々の学生部員の活動に対する運営管理のために個人単位でのPDCAサイクルも廻っており、活動全般が適切に運営管理されている。TQCによって、当部全体および学生部員個人のレベルで活動が改善され、学生部員のスポーツの技能が向上し、競技会で良好な成績を収められるようになった。加えて、学生部員の自主性や自立性、判断力や企画力、コミュニケーション力やコーディネーション力などの資質能力が総合的に向上した。

グライダースポーツと一般的なスポーツとでは本質的な違いがないことから、慶應義塾体育会航空部が取り入れているTQCはスポーツ教育全般へ適用することが可能だと考えられる。これからのスポーツ教育では、従来のように指導者の経験やスキルに偏重しすぎることなく、科学的合理性がある教育指導法を導入するべきであり、TQCはその有効な手法として検討に値する。

図表 訓練風景



提供：慶應義塾体育会航空部 総監督 吉田正克氏

2013年1月28日、東京工業大学の細野教授のグループは、層状化合物 Ca_2N がイオン層の隙間に2次元電子層を生じさせる新たな構造のエレクトライド（電子化物）であることを発見した。イオン層の隙間に電子層が存在し、そこを電子が流れるのは、通常の層状物質にはない新しい現象である。格子振動や不純物による散乱を受けにくいために面方向の電気伝導度は大きくなり、銀や銅にも匹敵する。同グループは純粋で良質な Ca_2N 単結晶の作製と物性測定に世界で初めて成功し、今回の発見に至った。

トピックス / イオン層の隙間に電子層が生じる2次元エレクトライドを発見

2013年1月28日、東京工業大学の細野秀雄教授のグループは、層状化合物 Ca_2N がイオン層の隙間に2次元電子層が生じる新たなタイプのエレクトライド（電子化物）であることを発見した^{1,2)}。電子が面方向に極めて動きやすく、銀や銅にも匹敵する電気伝導度を持つことも明らかになった。

エレクトライドとは、陰イオンが電子に置き換わっていたり、陽イオンから離れた隙間に電子が溜まったりする構造で、希にしか存在しない。同グループでは、2003年に $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ の結晶中の特定の酸素イオンを電子で置き換えることによりエレクトライドの作製に成功していた。この物質は、電子が隙間の中に0次元的に閉じ込められて動き難く、電気伝導度は小さい。電子を閉じ込める隙間が2次元的な層構造であれば、電子は面方向には動き易いはずである。そこで、層状化合物 Ca_2N に着目して研究を進めた結果、この物質が新たな構造の2次元エレクトライドであることを発見した。

Ca_2N の結晶構造自体は分かっていたが、 Ca_3N_2 を含んでしまうなど、純粋で良質な単結晶を作るのが難しく、正確な物性測定はされていなかった。同グループでは、合成温度（800℃）からの急冷や過剰のCaを加えるなどの工夫により、世界で初めて良質の単結晶の作製に成功し、その物性測定に成功した。

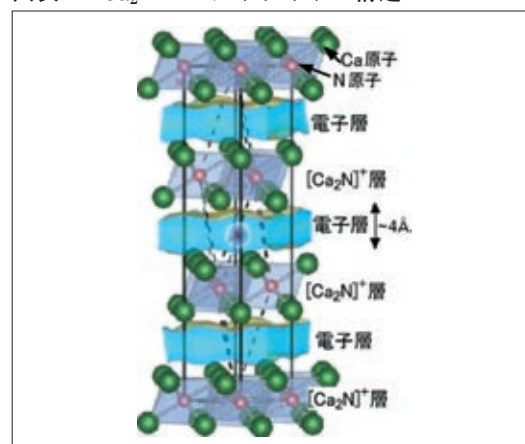
$[\text{Ca}_2\text{N}]^+$ イオン層の隙間に2次元的な電子層が存在するという他に例を見ない特異な構造（図表1）であることが、磁場中での電気抵抗の測定や、密度汎関数法を用いた電子分布の計算により判明した。通常の層構造物質、例えばグラファイトや銅酸化物高温超伝導体では、2次元イオン層と電子層は同一の層であり、イオン層を電流が流れる。今回の2次元エレクトライドでは、イオン層の隙間を電子が流れるという新たな特徴を持つ。

面方向の電気抵抗率は極めて小さく、銀や銅にも匹敵する（図表2）。これは、電子が結晶構造の隙間を流れるため、格子振動や不純物による散乱

を受け難くなることが理由である。実際に、電子移動度は通常の金属より10倍程度高い。電子濃度も高くかつ温度に依らず一定で、Ca原子2個とN原子1個より電子1個が供給されるため、構造式は $[\text{Ca}_2\text{N}]^+e^-$ と表記できる。

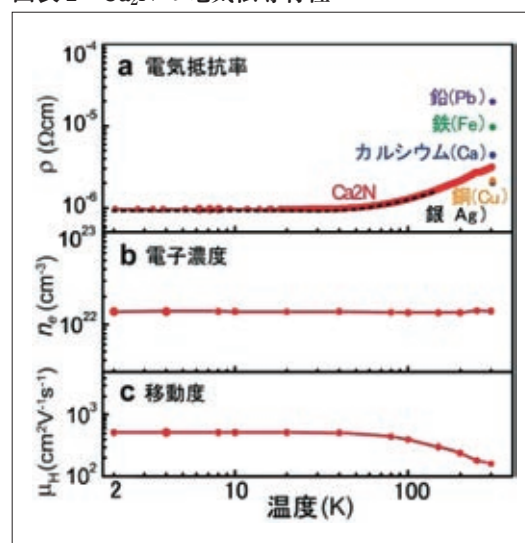
今回発見された2次元エレクトライドは、イオン層の隙間を電子が流れるという全く新しい物理現象を含み、量子力学的にも興味深い。なお、細野教授は、鉄系超伝導体の発見者としても知られている。

図表1 Ca_2N エレクトライドの構造



出典：
参考1

図表2 Ca_2N の電気伝導特性



出典：
参考1

- 参 考 1) 東京工業大学ニュースリリース：http://www.titech.ac.jp/file/pressrelease20130131_hosono.pdf
2) nature 494, 336-340：<http://www.nature.com/nature/journal/vaop/ncurrent/full/nature11812.html>

2013年1月25日、分散コンピューティングを用いた素数の探査プロジェクト GIMPS (Great Internet Mersenne Prime Search) に参加する(米)セントラルミズーリ大学の C. Cooper 博士が過去最大の素数を発見した。発見した素数は、2 の 57,885,161 乗から 1 を引いた数で 17,425,170 桁になり、暫定値で小さい方から 48 番目のメルセンヌ素数である。GIMPS は、1996 年以降メルセンヌ素数の探査と検証を行っており、今回で 14 個目の発見となった。素数自身やその分布は現代数学にも関係し、素数分布の解明は重要な課題である。メルセンヌ素数自身にも数学的未解決問題が存在するが、GIMPS による一連の発見は現代数学への寄与も期待できる。

トピックス 2 過去最大の新たな素数を発見

2013年1月25日、分散コンピューティングを用いた素数の探査プロジェクト GIMPS (Great Internet Mersenne Prime Search) は、過去最大の素数を発見した¹⁾。発見した素数は、2 の 57,885,161 乗から 1 を引いた数で、17,425,170 桁になる。この素数は、プロジェクトに参加している(米)セントラルミズーリ大学の数学教授 Curtis Cooper 博士が発見したもので²⁾、同博士は、3,000ドルの賞金をプロジェクトから受け取る予定である。

素数とは、1 とその数自身でしか割り切れない自然数(但し、1 を除く)のことであり、素因数分解やそれを使った公開鍵暗号にとって重要な数である。2、3、5、7、11、13、17……と無限に存在することは、紀元前 3 世紀頃の古代ギリシャの数学者ユークリッドによって証明されているが、その分布の様子は現在も非自明である。素数自身およびその分布は、リーマン予想や ABC 予想³⁾などの現代数学にも関係しており、素数の分布を解明することは重要な課題となっている。

そこで、大きな素数の発見を目的としたプロジェクト GIMPS が 1996 年に発足し、参加者のコンピュータの余剰処理能力をネットワークで結んで、メルセンヌ素数の探査と検証を行ってきた。同プロジェクトは、13 個の素数を既に発見しており、今回は 14 個目の発見となる。この素数は、小さい方から 48 番目(但し、暫定値)のメルセンヌ素数である。なお、1996 年以降に発見された大きな素数は、全て同プロジェクトによって発見されたものである(図表 1)。

自然数 $M_p = 2^p - 1$ (但し、 p は自然数) が素数になる場合をメルセンヌ素数^{注)}と呼び、 $2^2 - 1 = 3$ 、 $2^3 - 1 = 7$ 、 $2^5 - 1 = 31$ 、 $2^7 - 1 = 127$ のように、 p が素数であれば M_p が素数になる可能性が高い。メルセンヌ素数以外にもフェルマー素数やオイラー素数などが存在し、メルセンヌ素数が全ての素数を網羅するわけではない。しかし、 M_p が素数であれば p は素数であることが証明されており、素数かどうかの判定法も確立していることから、最

近発見された大きな素数は全てメルセンヌ素数である。

しかし、42 番目から 48 番目までのメルセンヌ素数の間に、他のメルセンヌ素数が存在しないことが証明されておらず、43 番目以降の番号は暫定番号である。事実、47 番目のメルセンヌ素数の発見後に、45 番目と 46 番目のメルセンヌ素数が発見された。47 番目のメルセンヌ素数は、(米)カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) のグループが発見したもので、初めて 1 千万桁を超えたため、100,000ドルの賞金を受け取った。

メルセンヌ素数自身に対しても、「メルセンヌ素数は無数に存在するか?」などの数学的未解決問題が存在する。GIMPS による一連の大きな素数の発見は、現代数学への寄与も期待できる。

図表 1 GIMPS が発見したメルセンヌ素数

番号	p	M_p の桁数	発見年	発見者
35	1,398,269	420,921	1996	J. Armengaud
36	2,976,221	895,932	1997	G. Spence
37	3,021,377	909,526	1998	R. Clarkson
38	6,972,593	2,098,960	1999	N. Hajratwala
39	13,466,917	4,053,946	2001	M. Cameron
40	20,996,011	6,320,430	2003	M. Shafer
41	24,036,583	7,235,733	2004	J. Findley
42	25,964,951	7,816,230	2005	M. Nowak
43	30,402,457	9,152,052	2005	C. Cooper & S. Boone
44	32,582,657	9,808,358	2006	C. Cooper & S. Boone
45	37,156,667	11,185,272	2008	H-M. Elvenich
46	42,643,801	12,837,064	2009	O.M. Strindmo
47	43,112,609	12,978,189	2008	E. Smith, et al.
48	57,885,161	17,425,170	2013	C. Cooper

出典：参考 1

注：フランスの神学者 Marin Mersenne (1588-1648) は、 $2^p - 1$ ($p \leq 257$) が素数になるのは、 $p = 2, 3, 5, 7, 13, 17, 19, 31, 67, 127, 257$ だけであると主張したが、他にも素数が存在するなどその主張の一部は誤りであることが後に分かった。

- 参 考 1) GIMPS ホームページ：http://www.mersenne.org/
 2) (米)セントラルミズーリ大学ニュース発表：http://www.ucmo.edu/news/prime.cooper.2013.cfm
 3) 科学技術動向誌 No.132 (2012 年 11・12 月号)「数学上の未解決問題 ABC 予想を証明」

これまで心理学や行動科学の領域では、知識創造性と年齢の関係においてポジティブな相関は稀であった。しかし、現在の社会におけるイノベーション創出には優れた知識創造性だけではなく様々な能力が求められる。香港大学の Ng 博士とジョージア大学の Feldman 博士は、米国の様々な産業のマネジャークラス 196 名を対象としてイノベーション関連能力と年齢の関係を調査した。その結果、イノベーション関連能力に関する値は年齢とともに衰えることはなく、経験の積み重ねやそれに伴う思考力や判断力、対応能力等の向上による上昇が示唆された。多くの先進国において労働者の平均年齢が上昇している今、労働者の年齢と職務遂行能力の関係に対する関心は年々高まっている。今後、様々な角度からの更なる検証が求められる。

トピックス 4 年齢とイノベーション関連能力の関係

これまで心理学や行動科学の領域では、知識創造性は年齢とともに低下する、あるいはほとんど変化しないものの向上はしない、という見解が一般的だった。しかし、現在の社会経済環境下では、知識創造性を発揮するだけでは社会的課題の解決や経済成長につながるイノベーションを創出することはできず、その他にも様々な能力が求められるようになってきている¹⁾。そこで、香港大学ビジネススクールの Ng 博士とジョージア大学の Feldman 博士は、イノベーション関連能力と年齢の関係を調査した²⁾。その結果、これらの間には正の相関があることが示された。

Ng 氏らは、米国内の様々な産業においてマネジメント職に従事する 540 名に対し、オンラインアンケートを実施し、196 名（回答率 36%）から回答を得た。回答結果は、他の回答者や上司、部下などには分からないよう匿名で回収された。回答者のうち 38% が女性で、全体の平均年齢は 40 歳。年齢構成別の内訳は、22 歳から 39 歳が 40%、40 歳から 54 歳が 47%、55 歳から 66 歳が 13% であった。

イノベーション関連能力に関する質問は、①新しいアイデアの創出に関する項目、②アイデアの伝達・普及に関する項目、③アイデアの実行に関する項目に別けて設定された。①では、自分が生み出したアイデアの数、②では、自分が生み出したアイデアを誰かに伝達した回数とその伝達した相手、および他者が生み出したアイデアの伝達回数とその相手、③では、自分が生み出したアイデアの実行回数と実行者、および他者が生み出したアイデアの実行回数と実行者を尋ねた。その上で、

著者らはこれらと年齢との相関関係について分析した。さらに、性別、学歴、職階、職歴等の変数でコントロールした上で、各質問項目と年齢との回帰分析を行った。

その結果、イノベーション関連能力に関する値は年齢とともに衰えることはなく、経験の積み重ねや、それに伴う思考力や判断力、プロジェクトや組織への対応能力等の向上により、上昇することが示唆された。イノベーション・プロセスでは、社会に広く分布している知識を活用し、新たな知識を生み出していくことが必要とされる。社会のニーズが多様で複雑なものになるにつれて、斬新なアイデアを生み出すだけでは、イノベーションを実現し普及させることは難しい。したがって、自身のアイデアのみならず、他者のアイデアであってもそれを解釈し、伝え、組織を動かす実行力が求められる。このことは、知識創造性の重要性を低めるものでは決してないが、年齢とともに備わる経験や判断力を活かす方向性について、示唆を与えるものといえる。

ほとんど全ての先進工業国において、労働者の平均年齢が上昇しているため、労働者の年齢と職務遂行能力の関係に対する関心は年々高まっている。ただし、心理学や行動科学のアプローチによる社会的課題の実証は、一般に条件の設定とそのコントロールが難しいため、様々な角度からの検証が必要となる。当研究の結果も例外ではなく、更なる検証が求められるが、年齢と職務遂行能力との関係を探ろうとするこれまでの一連の研究に一石を投じている。

参 考

- 1) Ng T. W. H. and Feldman, D. C. "The relationship of age to ten dimensions of job performance" *Journal of Applied Psychology*, 93, 392-423. (2008)
- 2) Ng T. W. H. and Feldman, D. C. "Age and innovation-related behavior: The joint moderating effects of supervisor undermining and proactive personality" *Journal of Organizational Behavior*, Wiley Online Library, DOI : 10.1002/job.1802 (2012)

2013年2月、米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）を中心とする研究グループは、広い範囲に散在するナノスケール（ 10^{-9} m）物質を1個単位で検出できる、オンチップ顕微鏡技術を開発したと発表した。ガラスプレート上のナノ粒子の周囲に形成した液体がレンズとして機能する液体ナノレンズを利用して、散乱光と背景光のコントラストを強める光学式顕微鏡である。従来の光学顕微鏡がもつ外部のレンズ系は不要で、簡便な装置でナノスケールの粒子やウイルスの効率的な検出が可能である。患者の検体のその場診断や、環境等の計測への応用も期待できる。

トピックス 5 広範囲に散在するナノ粒子を検出できるオンチップ顕微鏡

2013年2月、米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校（UCLA）を中心とする研究グループは、広い範囲に散在する $1\text{ }\mu\text{m}$ より小さいナノスケール（ 10^{-9} m）物質を1個単位で検出できる、オンチップ顕微鏡技術を開発したと発表した¹⁾。

可視光を光源に用いる光学顕微鏡でのナノスケール物質の観察は、光の散乱が微弱なため困難である。このため一般的には電子顕微鏡（SEM）が利用されるが、設備コストが高く観察に要する時間も長くなる。また、特に密度が低く散在するウイルスなどの観察では、視野の狭さ（通常 0.2 mm^2 未満）にも課題があった。

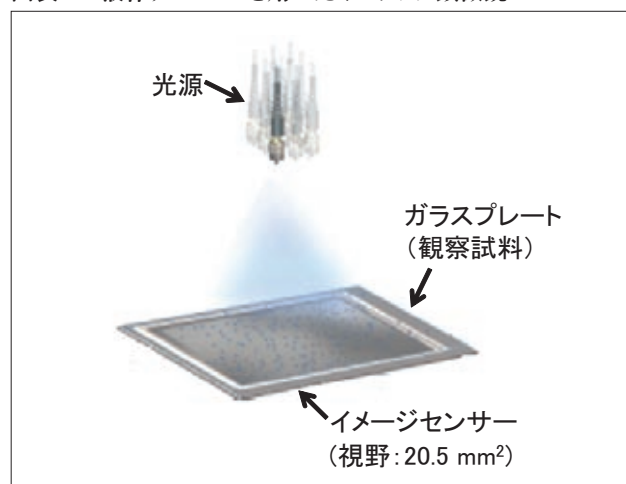
今回、研究グループは、非球面型の液体ナノレンズを利用して散乱光と背景光のコントラストを強める光学式のオンチップ顕微鏡技術を開発した。ガラスプレート上に分散したナノ粒子の周囲に形成した液体がレンズとして機能するため、従来の光学顕微鏡のような外部のレンズ系は持たない（図表1）。

観察の準備としてまず、ナノ粒子を生化学用途の液体*に分散し、これを表面に親水処理を施したガラスプレート上に滴下する。プレートの傾きを制御しながら液体を拡散することで、ナノ粒子の周囲に液体が自己組織化し、厚さ $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 以下のナノレンズが形成される（図表2）。観察では、ガラスプレートの下に光を検知するイメージセンサを重ね、LED等の光源から光を照射する（図表1）。ナノレンズによって位相が異なる複数の光が生成し、ナノ粒子によるホログラム回折パターンが現れる。イメージセンサの検出信号を計算処理することで、ガラスプレート上のナノ粒子の単体が検出できるようになる。この方法によって、 $1\text{ }\mu\text{m}$ より小さいサイズのナノ粒子を、 20 mm^2 以上という広い視野の中で1個ずつ検出することが可能となった。研究グループでは、実際の観察例として、ポリスチレンナノ粒子、アデノウイルス、インフ

ルエンザ A 型（H1N1）ウイルスの検出結果を示している。

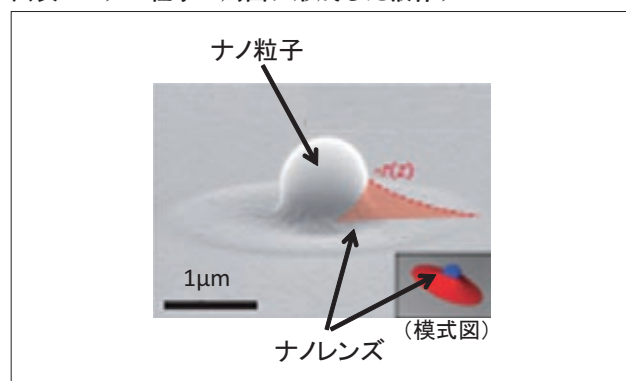
簡便な装置で効率的にナノスケールの粒子の検出が可能であり、患者の検体のその場診断や、使用できる医療機器装置に制約がある地域での診断などの他、環境等の計測への応用も期待できる。

図表1 液体ナノレンズを用いたオンチップ顕微鏡



参考1を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表2 ナノ粒子の周囲に形成した液体ナノレンズ



参考1を基に科学技術動向研究センターにて作成

* 0.1M Tris-HCl with 10% polyethylene glycol 600 Buffer.

参考 1) O. Mudanyali et al., "Wide-field optical detection of nanoparticles using on-chip microscopy and self-assembled nanolenses", Nature Photonics, DOI:10.1038/NPHOTON.2012.337.

2012年12月、International Data Corporation は、2020年の全デジタルデータの世界（デジタルユニバース）のサイズを推定した報告書を発表した。報告書によると、2020年までにデータ量は2年ごとにほぼ倍増し40 ZB（ゼタバイト：ゼタは10の21乗）に到達、新興市場の伸びが急成長するとしている。また、マシンが生成するデータ割合は40%に届き、分析すれば価値が内包される情報は33%相当に、プロテクションされないデータ量は26倍増加するとしている。さらに、データに関係するすべての国々がプロテクションやセキュリティ問題の責任を共有すべきなど、データの増加に追従できていない課題が著しく増加していることを示している。現在注目されている医療情報をはじめとした今後のビッグデータ活用に向けた取組みにおいて留意すべき諸点である。

トピックス 6 2020年のデジタルデータ量は40ゼタバイトに拡大と推定

2012年12月、International Data Corporation（以下、IDC）は、全デジタルデータの世界（デジタルユニバースとしており、以下DUと略す）のサイズを推定した報告書¹⁾を発表した。この調査は、EMC コーポレーションの後援によりIDCが2007年から年1回実施しており今回が6回目にあたる。報告書では、過去および将来にわたって生成・複製・消費されるデータ量、種類ほかが記載されている。以下、特徴的な記述を抜粋して示す。

①データ量

2012年に生成・複製されるデータ量は、2.8 ZB（ゼタバイト：ゼタは10の21乗）に達し、2005年から2020年までに、0.13 ZBから40 ZBへと300倍に増加すると予想している。これは2011年の調査での予想を14%上回っている。そして、2012年から2020年までにはデータ量が2年ごとにほぼ倍増するとしている。

データ量の伸びは、先進国市場より新興市場で急激に上昇する。DUにおける新興市場の割合は、2012年には36%に至り、2020年には62%に達するとしている。特に中国での伸びが大きく2020年には中国だけでDU全体の約1/5になるとしている。

②データ種類

DUの大部分（2012年では68%）は、消費者によって生成され消費されるものである。また、マシンが生成したデータがDUの拡大に大きく影響を及ぼし、DUに占める割合は2005年の11%から2020年には40%にもなるとしている。別の観点での言及として、DU内では個人が生成する情報量（例えば、ドキュメントの作成、写真撮影等）に比べ、「個人に関する」情報量がかなり上回るもある。

③価値を内包するデータの割合

2020年までにDUの33%相当は分析したら価値が

ある情報を内包すると見積もっている。しかし、実状をみると、2012年ではタグ付け（分析用の付加情報の付与）されて分析されたら有益である割合は23%としているが、タグ付けされたデータ割合は全体の約3%だけしかなく、分析されているデータの割合は同0.5%と少ない。

④データのプロテクションとセキュリティ

DU内でプロテクションを必要とするデータの割合は、2010年には1/3以下であるが2020年には40%以上と増加する。また、実状はプロテクションが必要な情報の約半分だけがプロテクションされているだけで、改善はあるとしても、2020年までにはそうしたプロテクションされないデータ量は26倍の増加になるとしている。また、新興市場は成熟市場に比べてプロテクションの水準が低いともある。

物理的な世界のある1か所で生成されたデータは容易に他の場所でも見ることができるため、どこかでプライバシー保護漏れなどが起こると大きな問題に発展する。そのため、データに関係するすべての国々が責任を共有すべきであるとしている。

現在、ビッグデータの研究開発が欧米をはじめとして盛んに進められている。その背景には、これまで活用されていなかった膨大なデジタルデータの中から有意な情報を抽出し、「価値の創出」を図ろうとする動きがある²⁾。価値を引き出すために対処すべき課題として、プライバシーやセキュリティを挙げている報告は多い³⁾。今回の報告書は、データの増加に追従できていない課題が著しく増加していることを明らかにしている。現在注目されている医療情報をはじめとした今後のビッグデータ活用に向けた取組みにおいて留意すべき諸点である。

- 参 考 1) THE DIGITAL UNIVERSE IN 2020 : Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East (IDC 2012.12)
 2) 米国政府のビッグデータへの取り組み（科学技術動向月報 2012年9,10月号）
 3) Big Data : The next frontier for innovation, competition, and productivity (McKinsey Global Institute,2011)

米国国立科学財団(NSF)の評価基準の改訂

—基礎科学研究活動が潜在的に持つ社会的インパクトに関する新たな理念の提示—

遠藤 悟
客員研究官

1 国立科学財団(NSF)とそのメリットレビューの改訂

1-1

国立科学財団(NSF)と その評価基準

米国連邦政府は、大学等において実施される基礎研究活動に対し、国立保健研究所(National Institutes of Health: NIH)、国立科学財団(National Science Foundation: NSF)、エネルギー省(Department of Energy)等の機関を通じて支援を行っている。このうちNSFは、1950年に創設された連邦政府の独立機関として、生物医学分野等を除く幅広い科学、工学分野の研究活動を支援するとともに、科学技術工学数学(STEM)教育の活動等に対しても支援を行っている。NSFはその支援の対象とするプロジェクト等の決定においては、メリットレビューを経て行うこととしている。一般に、多くの国の基礎研究支援機関においては、その支援の決定においてピアレビューという個々のプロジェクトに対して当該研究分野を理解する研究者が学術的な視点から評価を行う手法が用いられているが、NSFのメリッ

トレビューにおいては、このような評価に加え、科学研究活動全体、国民の健康・経済的な繁栄・福祉の発展、安全など、より幅広い視点を併せた評価が行われている。

このメリットレビューの実施においては、NSFの助言機関である国家科学審議会(National Science Board: NSB)における検討結果に基づき、1997年以降、「知的メリット(Intellectual Merit: 知識を前進させる潜在性に関する基準)」と「より幅広いインパクト(Broader Impact: 社会の利益と特定の期待された社会的アウトカムの達成の潜在性に関する基準)」の2つの評価基準が用いられている。

1-2

メリットレビュー基準の改訂

2つの基準は、その後改訂を経ながら現在も用いられているが、2011年12月にはNSBが報告書を提出し、それに基づく大きな改訂が行われ、2013年1月から適用された。この検討において最も大きな論点となったものは、「よ

り幅広いインパクト」評価基準の取り扱いであった。

「知的メリット」評価基準は、当該プロジェクトの学術的側面を重視しており、プロジェクトを立案する研究代表者にとっても評価を行うレビュアーにとっても馴染みやすい評価基準と言われているが、「より幅広いインパクト」評価基準については、例えば研究代表者からは本来の研究活動から外れた活動と感じられるとの意見が示され、また、評価者からは「知的メリット」評価基準と比較し「より幅広いインパクト」評価基準にどのような重みづけをすべきか判断が難しいという声が挙げられたりした。

また、2011年1月4日に成立した「2010年アメリカCOMPETES再授權法(America Creating Opportunities to Meaningfully Promote Excellence in Technology, Education, and Science Reauthorization Act of 2010 (America COMPETES Reauthorization Act of 2010))」¹⁾のセクション526においては、NSFのメリットレビュー評価基準のうち、「より幅広いインパクト」評価基準への言及があり、同評価基準をとおして達成す

べき目標として、米国の経済競争力の向上等、計8項目が示された(8項目については、第4章に記載した)。NSBの検討はこのような状況(8項目については、第4章に記載した)に基づき改訂されたメリットレビュー基準は以下のとおりである²⁾。

新たなメリットレビュー基準 (2013年1月14日から適用)

全てのNSFのプロポーザルは、2つのNSBが承認したメリットレビュー基準の使用を通して評価される。しかしながら、場合によってはNSFは特定のプログラムと活動の目的において求められる追加的な基準を使用することがある。

2つのメリットレビュー基準は以下のとおりである。

双方の基準は評価および意思決定手順全体において考慮される。それぞれの基準が必要であり、いずれも一方のみでは十分でない。従って申請者は双方の基準に関し十分に提示しなければならない。(グラントプロポーザルガイド第Ⅱ章.C.2.d(i)において、申請者がプロポーザルのプロジェクト記載部分の作成において使用する追加的情報が含まれている。) レビュアーは、プロポーザルの評価に先立ち、グラントプロポーザルガイド第Ⅱ章.C.2.d(i)を含む基準について熟読することが強く推奨される。

NSFのプロポーザルを評価する際、レビュアーは申請者が何をしたいか、なぜそれをしたいか、どのようにそれを計画しているか、どのように成否について理解するか、プロジェクトが成功した場合に何の利益が生み出されるのかといったことを考慮するよう求められる。これらの問題は、プロポーザルのテクニカルな側面とプロジェクトのより幅広い貢献の双方に適用されるものである。そのため、レビュアーは、全てのプロポーザルについて2つの基準から評価することが求められる。

・知的メリット：知的メリット基準は、知識を前進させる潜在性に関するものである。

および

・より幅広いインパクト：より幅広いインパクト基準は、社会の利益と特定の期待された社会的アウトカムの達成の潜在性に関するものである。

双方の基準の評価のため、以下の要素が考慮されるべきである。

1. 提案された活動に関する以下の点における潜在性は何か
 - a. 当該分野あるいは異なる分野を通じた知識と理解の前進 (知的メリット)
 - b. 社会への利益あるいは期待された社会的アウトカムの発展 (より幅広いインパクト)
2. 提案された活動は、どの程度創造的、独創的、潜在的にトランスフォーマティブな概念を提示し探求するか
3. 提案された活動の実施計画は十分な妥当性があり、十分に構想されており、健全な論拠に基づくものとなっているか。その計画は成否について評価するメカニズムが組み込まれているか。
4. 提案する者、チーム、組織は十分にその活動を行う能力を有しているか。
5. 研究代表者は、(自身の機関においてあるいは協力を通して) 提案された活動を行う適切なリソースを利用可能か。

1-3

新たなメリットレビュー基準の意味

新たなメリットレビュー基準についての、変更の経緯は後述するが、今回の改訂において注目すべき点は、「より幅広いインパクト」評価基準の取り扱いの変更である。従来、「知的メリット」評価基準と「より幅広いインパクト」

評価基準は、それぞれ独立した定義がなされ、計画立案や評価においても切り離されたものとして理解されてきたが、今回の改訂においては、双方の評価基準を一体化する形で定義されている。例えば、「創造的、独創的、潜在的にトランスフォーマティブな概念」という定義は、従来は「知的メリット」評価基準に関するものであったが、新たな基準においては、双方の評価基準として定められている。

また、「2010年アメリカCOM-

PETES 再授權法」においては「より幅広いインパクト」に関し、米国の経済競争力の向上等、計8項目の達成すべき目標が示されたが、新たな評価基準においてはこれらの項目に関する記述はない(申請手順を説明したグラントプロポーザルガイドの記入要領に、8項目が「より幅広いインパクト」評価基準に関する記入内容の例として示されているに過ぎない)。

これらのことは、今回の改訂が、(1)「知的メリット」と「より幅

広いインパクト」の双方の評価基準の目標は、研究活動そのもの、またはそれに関連しあるいは補完する活動を行うことにより達成されること（「より幅広いインパクト」評価基準が研究活動から離れた活動により達成されるものではないこと）を明らかにし、また、(2)「より幅広いインパクト」評価基

準は、研究者がその計画立案において、当該プロジェクトが持つ幅広い社会的価値の潜在性を意識することが重要であり、例えば経済競争力の向上といった具体的な目標を予め設定するものではないことを示したものであるとすることができる。すなわちこの改訂は、研究者に対し、研究活動を通して

創造される、社会的なインパクトを含む幅広い価値についてより強く認識させるものと言えるが、研究代表者が作成するプロポーザルの内容や、レビュアーが行う評価にどのような影響を及ぼすかについては、今後その動向を注視してゆく必要がある。

2 2つのメリットレビュー基準

2-1

2つのメリットレビュー基準（「知的メリット」と「より幅広いインパクト」）の策定

前章においては、今回の NSF

のメリットレビュー基準の改訂の概略を記したが、本章以降においては、この改訂に至る経緯や、検討の手順等について記す。その主な流れは以下のとおりである。

NSF は、その支援対象の決定にあたっては、設立当初から「研究者の能力を含む提案された研究の科学的メリット（the scientific

merit of the proposed research, including the competence of the investigator）」という考え方に基づき具体的な基準を設定し評価を行ってきたが、1997 年には NSB の検討結果に基づき、「知的メリット」と「より幅広いインパクト」の両方とすることに改めた³⁾。双方の定義は以下のとおりである。

- 1997 年 NSB の検討結果に基づき、メリットレビューの評価基準を「知的メリット」と「より幅広いインパクト」の2つとするよう改訂
- 2002 年 NSF 長官が、両方の評価基準に関する記述がないプロポーザルについては受理をしない旨通知
- 2007 年 NSB が、「トランスフォーマティブリサーチ」の概念を発表
- 2010 年 2 月 NSB が、「メリットレビューに関するタスクフォース」を設置し検討を開始
- 2011 年 1 月 「2010 年アメリカ COMPETES 再授權法」が成立
- 2011 年 4 月 NSF が、戦略計画「NSF Strategic Plan 2011-2016」を策定
- 2011 年 12 月 NSB が、「国立科学財団のメリットレビュー基準：評価と改訂」報告書を提出
- 2013 年 1 月 NSF が、新たなメリットレビュー基準を適用

知的メリット（Intellectual Merit）

提案された活動は、当該分野や異なる分野にわたる知識と理解の前進にどのように重要か。提案者（提案チーム）はどの程度プロジェクト実施の能力を有しているか。（適宜、レビュアーは過去の業績の質に言及する）提案された活動は、どの程度創造的、独創的な概念を提示し探求するか。提案された活動は、どの程度良い着想、構想がされているか。リソースに対する十分なアクセスがあるか。

より幅広いインパクト（Broader Impact）

その活動はどの程度教育、訓練、学習を促進させつつ発見や理解を前進させるか。提案された活動は、どの程度人口に比して少数派となっているグループ（例えば、ジェンダー、民族、身体障害、地理的条件等）の参加を拡大するか。それは、施設、計装、ネットワーク、連携といった研究教育基盤をどの程度向上させるか。その成果は科学的、技術的理解の増進のため幅広く周知されるか。提案された活動の社会への利益となるようなものは何か。

2-2

グラント申請における 2つの基準の記述

1997年に策定された「知的メリット」と「より幅広いインパクト」の2つの評価基準のうち、前者についてはそれ以前の学術的価値を中心とした評価基準と類似した面が多く、研究代表者にとってもプ

ロポーザルの記述において馴染みのあるものであったと言われていたが、後者の「より幅広いインパクト」評価基準については、申請手順が記載されたグラントプロポーザルガイドにおいて上記のようなある程度の指針は示されているにも関わらず、研究代表者、評価者の双方に戸惑いもあり、その記述が不十分であるという指摘もなされた。

これに対し NSF は、2002年に

長官名の通知文により、2つの基準は等しく扱われることを明言し、プロポーザルのプロジェクト要約において「知的メリット」と「より幅広いインパクト」の双方の評価基準について独立した記述がなされていない場合、その申請を受理しないこととし、「より幅広いインパクト」評価基準についても研究代表者がプロポーザル提出に際し「知的メリット」評価基準と同様に明示することを促した。

3 トランスフォーマティブリサーチの概念の導入

2007年には、「知的メリット」評価基準に関する改訂が行われた。NSF はかねて検討を行ってきたトランスフォーマティブリサーチの概念を取りまとめ、2007年に「国立科学財団におけるトランスフォーマティブリサーチの支援 (Enhancing Support of Transformative Research at the National Science Foundation)」報告書を発表した⁴⁾。この理念については、同報告書における以下の言葉により理解することができる。:「トランスフォーマティブリサーチは、我々の重要な既存の科

学的・工学的概念に対する理解を劇的に変える、あるいは新たな科学・工学のパラダイムや分野・領域の創造を導く潜在性を持つ発想により実施される研究と定義される。そしてそのような研究はまた、現行の理解やその新たなフロンティアへの筋道に対する挑戦ということにより性格づけられる。」

NSFはこの報告を受け、同年メリットレビュー基準にトランスフォーマティブリサーチの概念を取り入れ、「知的メリット」評価基準の「提案された活動は、どの程度創造的、独創的、潜在的に」

に続け、「トランスフォーマティブな」の語を挿入した。

この「トランスフォーマティブリサーチ」の概念は、その後のNSFの活動においても重要なものとして位置付けられており、例えば最新の2011-2016年度の戦略計画においても多く言及されている。しかしながら、この概念は研究者からは必ずしも理解しやすいものではなかったと見られ、2011年のメリットレビュー基準の改訂の検討の際には概念の明確化を求める声も寄せられている。

4 アメリカ COMPETES 再授權法

米国では2007年8月に競争力強化法として「アメリカ COMPETES 法」が施行されているが、2011年1月4日には同法を引き継ぐ新たな「2010年アメリカ COMPETES 再授權法 (America Creating Opportunities to Meaningfully Promote Excellence in Technology, Education, and

Science Reauthorization Act of 2010 (America COMPETES Reauthorization Act of 2010))」が成立している。同法セクション526においては、NSFのメリットレビュー評価基準のうち、「より幅広いインパクト」評価基準についての言及があり、同評価基準をとおして達成すべき目標として、

以下の8項目を示し、また、NSFに対し関連するポリシーを策定することを求めている。

なお、同法においては、法成立後6か月以内に、NSF長官は、「より幅広いインパクト」評価基準のポリシーを開発・実施をしなければならないことも併せて記されている。

アメリカ COMPETES 法に示された、「より幅広いインパクト」評価基準を適用することにより達成されるべき目標

- (1) 米国の経済競争力の向上
- (2) 地球規模的に競争的な科学技術工学数学（STEM）労働力の育成
- (3) 女性とマイノリティーの科学技術工学数学（STEM）分野への参加の拡大
- (4) 大学と産業の連携の拡大
- (5) 幼稚園—初等中等教育の科学技術工学数学（STEM）教育の改善と教師の能力開発
- (6) 学部科学技術工学数学（STEM）教育の改善
- (7) 人々の科学リテラシーの向上
- (8) 国家安全保障の向上

5 NSB によるメリットレビュー基準の検討

5-1

NSB メリットレビュー タスクフォースの設置

アメリカ COMPETES 再授權法の成立に先立つ 2010 年 2 月、NSB は「メリットレビューに関するタスクフォース（Task Force on Merit Review）」を設置し、「知的メリット」と「より幅広いインパクト」の 2 つの評価基準とその NSF の科学工学分野の研究と教育を支援するという目標を達成することにおける効果について検討を行うこととした。また、その場合、メリットレビューの手法（methodology）、2 つの基準のいずれかあるいは双方の修正や、その解釈や応用についても検討の対象に含めることとした。

また、検討を行うべき理由としては、(1) 国立科学財団戦略計画（NSF Strategic Plan 2011-2016）⁵⁾ が策定されたことから、同計画との整合性を持たせる意味があること、(2) 「より幅広いインパクト」評価基準の適用については混乱も見られると言われていること、を挙げている。さらに、検討過程においてはアメリカ COMPETES 再授權法セクション 526 の「より幅広いインパクト」評価基準に関する条文も考慮された。

5-2

NSB メリットレビュー タスクフォースにおける検討

NSB メリットレビュータスクフォースは以下のとおり様々なステークホルダーの意見を取り入れる形で検討を進めた。

(1) SRI インターナショナルによる 主要なステークホルダー のグループからのインプ ット分析

NSB の委託を受け、SRI インターナショナルは NSF 上級職員、大学の代表、NSF プログラムオフィサー、NSF 諮問委員会委員、研究代表者、NSF プログラムの評価者といったステークホルダーに対し、インタビューやアンケートの形で「2 つのメリットレビュー基準は明確に説明されているか」等、7 項目の質問を行い、それに対する約 4500 件の回答を集計し、それに基づく提言を作成した。

(2) パブリックコメント（第 1 回） の実施

NSF のウェブサイト上において、メリットレビュー基準改訂に関する 5 つの質問項目に対する自由記述形式パブリックコメン

トの募集が行われ、それぞれの質問項目に約 280～450 件の回答が寄せられた。この回答については、NSB の委託を受けた Science and Technology Policy Institute (STPI) が、2011 年 6 月にその結果を取りまとめ NSB に報告した。

(3) 外部委員会（Committee of Visitor）報告書の分析

NSF は実施する諸プログラムの評価を行うことを目的として外部委員会（Committee of Visitor-COV）を設置しているが、メリットレビュー基準改訂の検討に際し、この委員会が 2001-2009 年の間に作成した 195 本の報告書における両基準への言及の頻度や記述内容の分析を行った。

(4) タスクフォースによる第 1 回メリットレビュー基準改 定案の提示

NSF/NSB は、上記のステークホルダーの意見に基づき、2011 年 6 月に第 1 回のメリットレビューの改訂案を発表した。この改訂案においては、「より幅広いインパクト」評価基準について、2010 年アメリカ COMPETES 再授權法に記された各項目に研究教育基盤等に関する若干の加筆をした内容を「重要な国家目標（important national goals）」として示したうえで、「知的メリット」、

「より幅広いインパクト」それぞれの評価基準の目的あるいは目標を示した。

5-3

(5) パブリックコメント（第2回）の実施

上記第1回メリットレビュー基準改訂案は、1か月の間、NSF宛でのメールによる人々からのコメントの募集が行われ、これに対し約280件の回答が寄せられた。STPIはNSBの委託を受け、2011年9月にその結果を取りまとめた。

NSB「国立科学財団のメリットレビュー基準：評価と改訂」報告書の提言

以上の検討を経て、NSBは2011年12月14日に「国立科学財団のメリットレビュー基準：評価と改訂（National Science Foundation's Merit Review Criteria：Review and Revisions）」報告書を発表した⁶⁾。この報告書にはメリットレ

ビュー原則に関する提言、メリットレビュー基準に関する提言等の内容が含まれているが、結論として、1997年に策定された2つのメリットレビュー基準は変更しないとしたうえで、両基準と、その相互の関連性について明確に定義した。

以下においては、メリットレビュー原則に関する提言（結論部分のみ）について記した。（注：メリットレビュー基準に関する提言は、そのまま2013年1月14日以降に適用されるメリットレビュー基準に含まれている。）

NSFが、基礎研究および教育の卓越性を育成し支援することの主要な連邦政府機関であるという点から、以下の3つの原則が適用される。

- ・全てのNSFのプロジェクトは、最高の質を有し、知識のフロンティアを変容（transform）させないまでも前進させる潜在性を持つべきである。
- ・NSFのプロジェクトは総体として社会的目標に対しより幅広く貢献すべきである。これらの「より幅広いインパクト」は、研究そのもの、直接特定の研究プロジェクトに関連する活動、あるいはプロジェクトに支援されつつ補完的である活動を通して達成されるようなものである。
- ・NSFにより資金配分されたプロジェクトの意味ある測定・評価（assessment and evaluation）は、幅広いインパクトの効果とプロジェクト実施のために用いられるリソースとの考えられる相関関係に留意しつつ、適切なメトリクスに基づき実施されるべきである。もし、活動の規模が限定的である場合には、当該活動を分離して評価（evaluation）を行うことは意味あるものとはなりにくい。従ってこれらの活動の効果を測定（assess）する際には、個々のプロジェクトよりも、より高度に、また、より総体的に行われることが最善と考えられる。

最後の原則に関しては、特定のプロジェクトに関するより幅広いインパクトのアウトカムの測定（assessment）が総体的なレベルにおいて行われるとしても、NSBは研究代表者が資金配分されたプロジェクトにおいて記述された活動の実施についてアカウンタブルであることを期待する。従って個々のプロジェクトは明白に記述された目標、研究代表者が意図する活動に関する固有の記述、そしてそれらの活動のアウトプットを文書化することに関する計画を含むべきである。

6 2013年1月14日以降のメリットレビュー基準とグラントプロポーザルガイド

上記のNSBの報告書を受け、NSFは新たなメリットレビュー基準を定め、2013年1月14日以降のプロポーザルに適用している。その内容は第1章に記したとおりであるが、この基準が記載されているグラントプロポーザルガイドにおいては、この新たな基準の適用に伴う変更や、具体的なプ

ロポーザルの記述内容の変更などが見られる。

この中でも特に研究者の関心と呼んだと思われるものとして、「略歴（Biographical Sketch）」に関する記述がある。この中の「Publications」のセクションが、今回の改訂により「Products」に変更され、それに伴い記入要領も変更となっ

た。この変更は、「Product」として出版物（publications）、データセット（data sets）、ソフトウェア（software）、特許（patent）、著作権（copyrights）、そしてそれ以外のものが含まれるとしており、評価の際に参照される情報の範囲がより広がったという点が注目される。

参考文献

- 1) America Creating Opportunities to Meaningfully Promote Excellence in Technology, Education, and Science Reauthorization Act of 2010, 2011
- 2) National Science Foundation, Proposal and Award Policies and Procedures Guide, Effective January 14, 2013, October 2012
- 3) National Science Foundation, Grant Proposal Guide, 1997
- 4) National Science Foundation, Enhancing Support of Transformative Research at National Science Foundation, 2007
- 5) National Science Foundation, Empowering the Nation through Discovery: NSF Strategic Plan for Fiscal Year (FY) 2011-2016, 2011
- 6) National Science Board, National Science Foundation's Merit Review Criteria: Review and Revisions , 2011

執筆者プロフィール



遠藤 悟

科学技術動向研究センター 客員研究官

<http://homepage1.nifty.com/bicycletour/sci-index.htm>

研究対象は米国を中心とした科学政策。前職の日本学術振興会在職中の2000年に「米国の科学政策」HPを開設し、政策動向を発信している。東京工業大学においては、科学と社会の関係や高等教育等にも対象を拡大している。

研究論文の影響度を測定する新しい動き

—論文単位で即時かつ多面的な測定を可能とするAltmetrics—

林 和弘
上席研究官

1 はじめに

1-1

論文、ジャーナルと研究評価をめぐる動向変化

グローバル社会における研究開発競争の加速化や競争的研究資金の増加を背景として、近年研究評価に関する関心が高まり、特に研究を定量的に評価する試みが繰り返されている。これまでの研究の定量的評価は、第一に研究のアウトプットの単位としては論文数が指標として広く受け入れられてきた。一方、研究の質の定量的評価指標としては、被引用数が広く用いられている。これ

は、研究者が先行研究を引き合いに自分の研究を進めるという学術的コミュニケーション^{注1)}の規範¹⁾をもとに、引用されることおよびその引用には学術的に意味深いと仮定を置いたうえでの評価指標である。引用・被引用数については商用データベースが存在しており、学術機関にはデータ利用が容易であったこともあって、計量書誌学(Bibliometrics)では中心的な指標^{注2)}として用いられている。最近ではGoogle Scholar²⁾を通じて誰でも論文の被引用関係やh-index³⁾に代表される被引用数に基づく研究者の影響度^{注3)}を知ることが可能となった⁴⁾。

研究の質を示す論文評価指標^{注4)}

として引用・被引用数を用いることは、現状では最善の方法といえる。ただ、被引用数ベースで影響度の測定を行う際の問題には、論文が引用され始めるまでのタイムラグの存在^{注5)}など、様々な問題点や弊害^{注6)}が大きいのも事実である。また、被引用数による評価はすべての分野の研究を一律に評価できることはないため、これを代替・補完する測定手法が探索されてきた⁵⁾。

こうした中、被引用数とは異なる手法による論文単位で影響度を指標化する「Altmetrics」という手法に最近注目が集まっている。本稿では、主要な研究成果物であるジャーナルの論文とそれを支え

注1 科学技術・学術の研究において、現在その成果公開は主にジャーナルに掲載された論文を通じて行われている。一般に研究者は良い研究成果を得ると、研究者コミュニティの中でなるべく評判の高いジャーナルに投稿し、その成果をコミュニティに認知させようと試みる。研究者コミュニティの中には暗黙の内にジャーナルの「格付け」が存在し、格付けの高いジャーナルへの掲載は研究評価の重要な判断材料としてとらえられてきた。

注2 現在の研究評価で論文の質を定量的に測るために最も有用とされる被引用数の計量は、限りある図書館にどのジャーナル収蔵するのかを決定するためのジャーナルの定量評価指標開発に付随する形で始まった。それとともに、ある特定の雑誌に掲載された論文が平均的にどれくらい頻繁に引用されているかを示す尺度ジャーナルの影響度指標であるImpact Factorも開発された。

注3 最近ではジャーナル書誌情報のデジタル化やジャーナルそのものの電子化とともに、様々な指標が開発されてきた。その主なものは、引用・被引用関係をベースに分野間の平準化を行うなど改良したもの(EigenFactor, SCImagoなど)、電子ジャーナルダウンロード数に基づくもの(Usage Factor)、あるいはジャーナルの価格に対するパフォーマンスに基づくもの(Cost per downloads)などである³³⁾。

図1 電子ジャーナルサイトでの Altmetrics の表示例



る情報流通を軸に、Altmetrics が登場した経緯、特徴、そして、今後の学術情報流通・研究評価への影響について述べる。

1-2

Altmetrics とは

Altmetrics とは Alternative Metrics を略語であり、論文やデータセットなど様々な研究成果物の影響を、①ソーシャルメディアの反応を中心に定量的に測定する手法と、その手法を用いた②新しい研究の影響度を測定・評価する活動を指す^{6,7)}。Altmetrics では、電子ジャーナルのデータベース上のデータが、他のデータベースを含む様々な情報と連携するこ

とによって、論文の影響度を様々な角度から計測できるようになっている。

Altmetrics の事例①：

ソーシャルメディアの反応測定

図1には、論文やデータセットなど様々な研究成果物の影響を、ソーシャルメディアの反応を中心に定量的に測定する手法の事例を示す。ここでは、オープンアクセスの査読付きジャーナル PLoS ONE 誌⁸⁾での Altmetrics の表示例を示している。これをみると、例えば、その論文が公開されてから今までの、電子ジャーナルダウンロード数、文献管理ツール Mendeley やソーシャルブックマークサービス CiteUlike⁹⁾などにおける保存数、簡易ブログサービスの Twitter やソーシャルネッ

トワークサービス Facebook で取り上げられた数などが表示されている。これにより、特定の論文がどれだけ参照され、専門家の間でどれだけ資料として保存され、さらに研究成果がネットでどの程度拡散されたかが即時に一目でわかる。

Altmetrics の事例②：

研究インパクト測定・評価

Altmetrics を活用した研究インパクトの測定・評価の試みの主な事例^{注7)}を紹介する。

ImpactStory¹⁰⁾では、複数の論文の ID や URL などをインプットすることで、各種ソーシャルメディアでの取り上げられ方を絶対値（例：twitter の言及数）と相対値（各ソーシャルメディアの中での相対位置）の両方からレポー

注4 機関によっては、分野におけるトップジャーナルへの掲載論文数を、業績評価や昇進基準に明確に用いているケースもある。

注5 分野にも依るが、その論文の影響が被引用数に現れて影響度を測れるようになるのは通常発行後2-3年目以降であり、その論文が公開されてしばらくは、被引用数に基づいた影響度は測定することができない⁴⁾。

注6 Impact Factor が登場すると、その値をもってその掲載論文の研究上の影響度とみなし、個々の研究評価に適用しようとする動きがみられるようになった。しかし、Impact Factor は、元来は「どの雑誌を図書館に置くか」というジャーナルの評価指標である。また、Impact Factor の高いジャーナルに掲載されたすべての論文が多く引用されるわけでもない。ジャーナルによっては被引用数上位25%の論文が引用全体の89%を稼ぐという報告³⁴⁾もある。このように一部の論文だけが被引用数の多くを獲得していることはよく知られている。加えて、一つのジャーナルの中でも論文ごとに様々な性質を持つため、Impact Factor を用いて個々の論文や研究を直接評価することは、一般には誤りだとされている。例えば、Garfield 氏自身が、「これまで多くの欧州の国で、評価者が論文の被引用数の調査を省略するために、Impact Factor を被引用数の代替として利用していることが分かった。私はつねにその利用に対して警告してきた。」として、Impact Factor の論文や研究評価への直接的利用を否定している³⁵⁾。

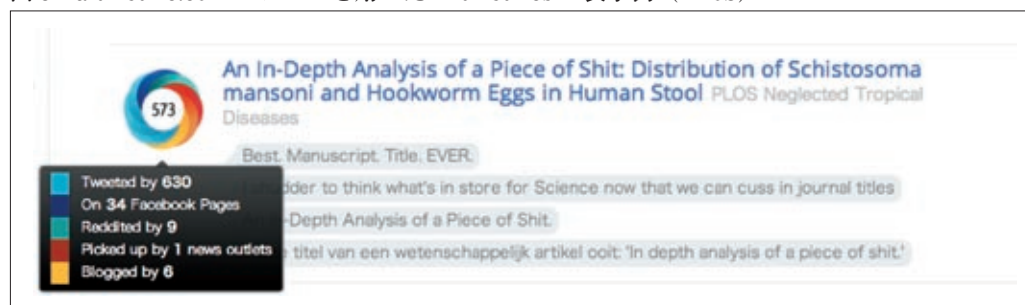
トする。(図2)

Altmetric (altmetrics.com) では、論文単位でソーシャルメディア、伝統的なニュースメディア、ソーシャルブックマークサービスなどの影響度を測定し、その種類別に色分けしたドーナツ状のグラフを表示している¹¹⁾ (図3)。また、Altmetric Explorer を通じて、Altmetrics で反応がある論文を比較し、掲載ジャーナルや、言及元の違いなどを分析できるようになっている。

図2 ソーシャルメディアでの評価結果を示してくれる ImpactStory



図3 altmetric.com のツールを用いた Altmetrics の表示例 (PLoS)



2 Altmetrics の意義・特徴

Altmetrics の意義は、様々なデータの組み合わせにより、短期的には論文の評価を多面的・複合的な定量評価の可能性が拡大することである。さらに、長期的には、個別論文単位で影響度が測られることにより、「どのジャーナルに掲載されたか」から、「掲載された論文が広くどのような影響を与えたか」の時代への転換を促すという研究評価の重心をシフトさせる可能性を持っていることである。

この Altmetrics による新しい影響度測定の手法の特徴は、次の

3 点にまとめられる。

1. 広域・社会性：社会の評判など、専門家以外への影響度が測定可能になったこと。
2. 補完・代替性：引用以外の手法で、または、引用では測りにくい分野の専門家への影響度が把握できることで引用・被引用による分析の代替・補完する機能を持つこと。
3. 即時性・予測可能性：論文公開直後からその影響度を定量的に測定でき、将来予測等に素早く活用可能な可能性を持つこと。

以下では、Altmetrics を利用した新しい影響度測定の手法の上記の特徴 3 点について、詳述する。

2-1

広域・社会性：
社会の評判など、
専門家以外への影響度が
測定可能になったこと

Altmetrics では、これまでは測定が難しかった一般社会への研

注7 Altmetrics に関連する活動の持続可能性については、現段階ではまだ注意する必要もある。API を利用して Mendeley に保存された文献数に基づいて研究者の影響度指数を表すサイトである ReaderMeter³⁶⁾ は、そのサービス開始以来、非常に多くの注目を集め、これまでほとんどの Altmetrics 関係のサイトや記事で有効な活用事例として紹介されてきたが、2012 年末頃よりアクセスが不可能となり、2013 年 2 月現在も復活していない。Altmetrics を用いた影響度測定が運用面でも安定化し、研究評価手法として確立するまでは、ある程度の時間を要するだろう。

究論文の影響度・評判も測定可能になった。(図4) これは、ソーシャルメディアは元々専門家以外の一般社会とも広く共有されるコミュニケーションメディアであるためである。

被引用数では現れない社会への影響が測定できた事例としては、福島原発事故以降のヤマトシジミ(蝶)の生物学的影響を調査した論文が、Nature 誌で2012年にもっともソーシャルメディアで採りあげられた論文としてその回数(Twitter 上で2142回言及など)と共に紹介されている¹²⁾。この論文はその後、web上で研究者に限らない多くの人々による議論を呼びおこし、Twitterの発言をまとめるサイトなどにその議論の経過が掲載された¹³⁾。

2-2

補完・代替性： 引用以外の手法で、または、 引用では測りにくい分野の 専門家への影響度が 把握できること

研究者が引用行動まで結び付くには、まず興味をもって論文を閲覧し、必要な知識として保存し、論文執筆の際に自分の研究と関連づけて引用する過程を経る。(図5) Fennerの報告では、PLoSジャーナルへのアクセス数に対して発生する被引用リンク数がごく少数であることを引き合いに、「引用数は論文がどの程度再利用され議論されたかの小さな部分だけを測っている」と主張している¹⁴⁾。Altmetricsでは、これらの今まで見えなかった研究者の行動である、閲覧や保存の過程なども測定可能になることで、より専門家への影響度を広範囲で測ることが可

能となる。

このような測定は、数学、コンピュータサイエンス、工学など、もともと引用の回数が多い分野の論文、もしくは引用関係が把握しにくい和文論文に関して、専門家への影響度を測るのにより有効であると考えられる。

2-3

即時性・予測可能性： 公開直後から影響度を定量的 に測定でき、今後素早く 役立てられること

Altmetricsの持つもっとも大きな特徴は、その論文の「今の」反応が、公開直後から論文単位で測定可能なことである。図6はEysenbachが報告した、ある

論文の公開後のTwitterでの言及数(Tweetation)と被引用数(Citation)を経時的に表示した図である¹⁵⁾。

この報告によると、一定条件下のもと、公開後3日間のツイート数を観測することで、高被引用数の論文をある程度予測できるとしている。Mendeleyの保存数が被引用数とある程度相関しているという報告もあり¹⁶⁾、Altmetricsが高被引用論文の先行指標となる可能性が指摘されている。

データを定常的に捉えて、リアルタイムでその対応を行うことはその観測対象の将来を予測することとほぼ同義^{注8)}となる。加えて、今を観測することで今後の判断や予測に役立てようとする動きは各所で見られる。例えば、日銀調査統計局の調査報告¹⁷⁾によると、景気判断に関して、近年では、情

図4 ソーシャルメディアの影響度の計量範囲と Altmetrics の役割

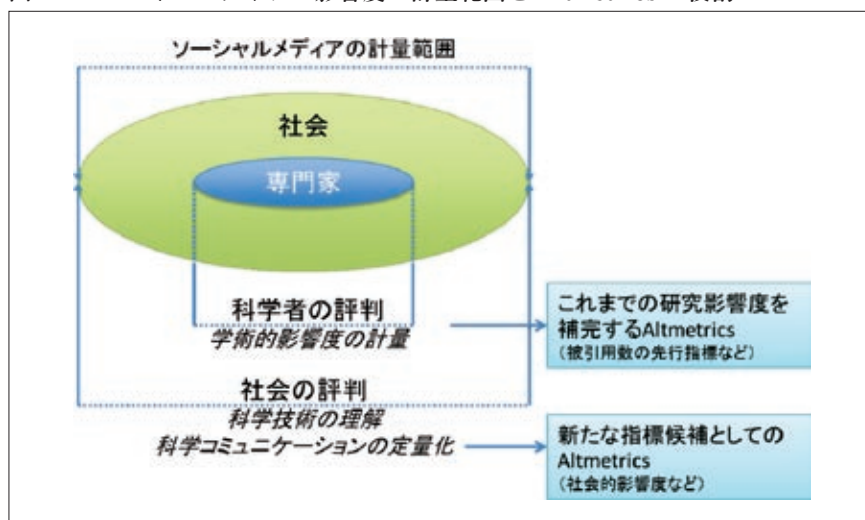
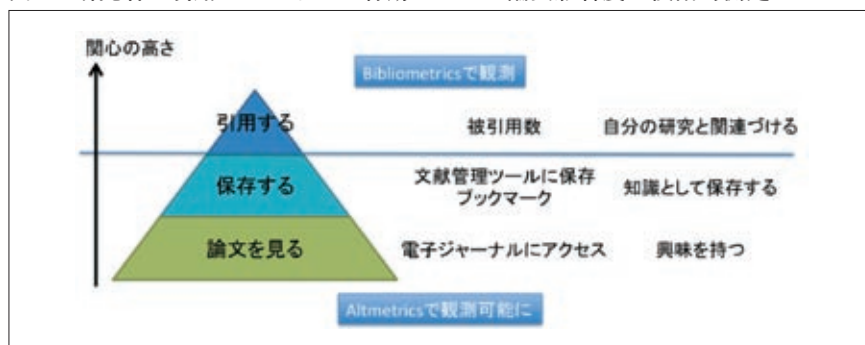


図5 研究者の引用に至るまでの行動からみる論文影響度の段階的測定

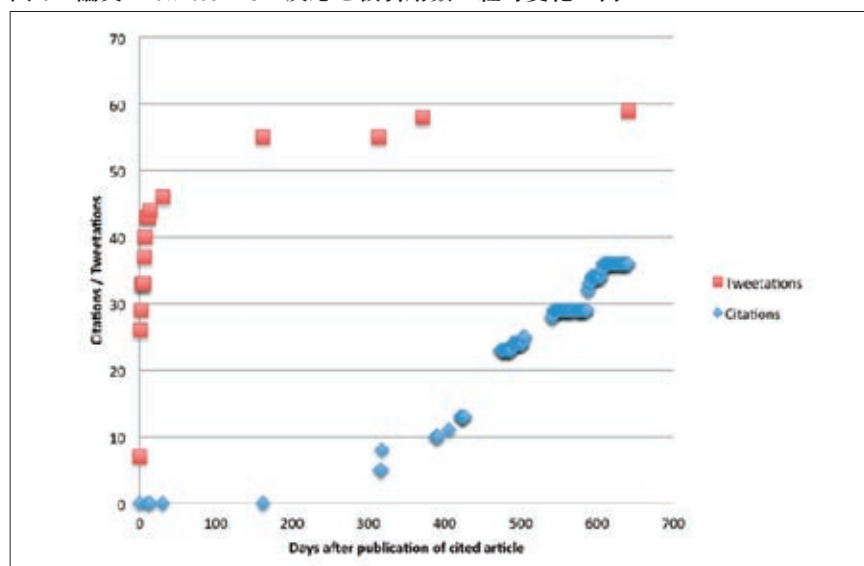


注8 2013年に行われた東京大学知の構造化研究センターのシンポジウム³⁷⁾でもビッグデータを定常的に捉えて、その対応を行うことはその観測対象の将来を予測することと同じであるとの議論があった。

報通信技術の発展によって、様々な種類の情報が短いタイムラグで入手可能になったため、そうした様々な情報を用いて、足もとの未公表データを予測する「ナウキャスティング^{注9)}」と呼ばれる手法の開発が進められている。

このため、Altmetrics を使って研究論文のトレンドをおさえることで科学技術の「今」を素早く観測し、科学技術動向の予測を支援する手法の開発も今後検討に値する^{注10)} だろう。

図6 論文の twitter での反応と被引用数の経時変化の例



3 科学技術・学術情報流通基盤と技術変化と個別論文の影響度計量手法の発展

Altmetrics 手法が登場の背景には、学術情報流通をめぐる情報・ネットワーク・データ関連の技術動向の変化が大きく影響している。以下では、Altmetrics が誕生するまでの学術情報流通の基盤の変化を情報技術の発展とともに述べる。

3-1

Article Level Metrics の誕生から Altmetrics への発展の歴史

図7には、個別論文の影響度

の計量までの学術情報流通および動きと背景となる情報技術変化の歴史を示している。1963年に Eugene Garfield がジャーナル間の引用関係を手作業で分析し、Science Citation Index として発表し、被引用分析の基礎が形作られた。それとともに、ある特定の雑誌に掲載された論文が平均的にどれくらい頻繁に引用されているかを示すジャーナルの影響度指標である Impact Factor も開発された。これらの引用情報が電子化され、被引用分析が可能になった。

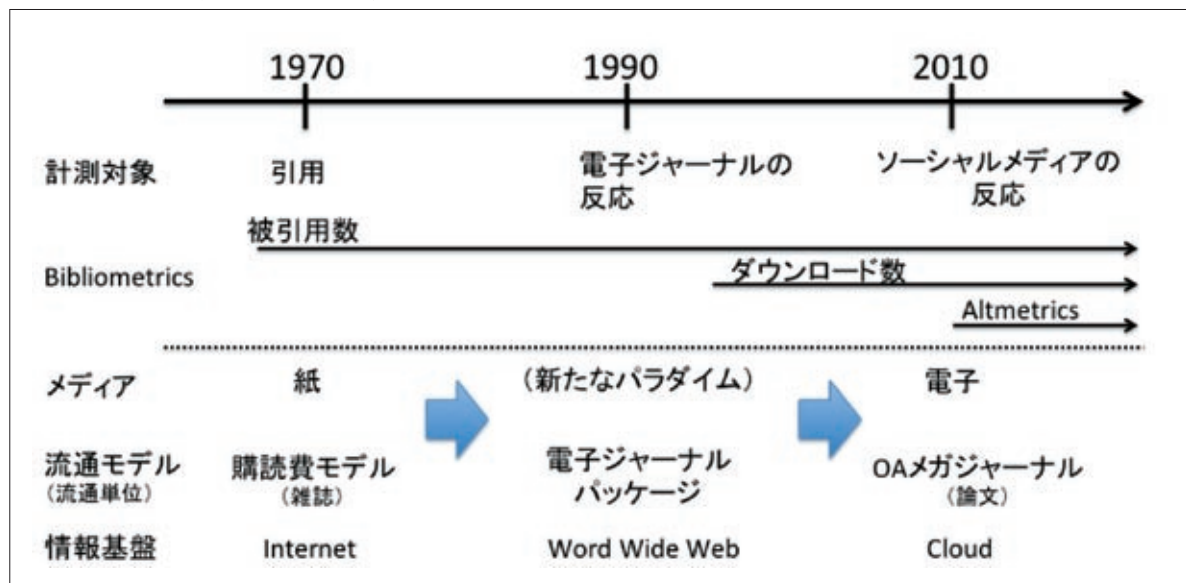
さらに1990年後半にはインターネット (www) の誕生に伴う電子ジャーナル化に伴い、論

文単位の新しい影響度測定の計量 (Article Level Metrics) が可能になった。当初は、電子ジャーナル化と多数の電子ジャーナルのパッケージ化によって個々の論文へのアクセスを出版側のサーバーで一元管理することが可能になったため、その論文へのアクセス数やPDFダウンロード数を計測できるようになった。しばらくは、出版者側の内部資料や、ダウンロード数ランキングなどの作成を通じて主に広報のために利用されていたが、2009年に PLoS One 誌が各論文の記事ページに、リアルタイムでその論文へのアクセス数 (ページビュー) を表示し始め

注9 景気判断を行うにあたっては、ほとんどの経済指標には、経済活動の時点から公表までにタイムラグがあるという問題がある。こうした点への対応策として、企業からの聞き取り調査などが補完的に利用されている。近年では、情報通信技術の発展によって、様々な種類の情報が短いラグで入手可能になったため、そうした様々な情報を用いて、手持ちの未公表データを予測する「ナウキャスティング」と呼ばれる手法の開発が進められている。

注10 ただし、Altmetrics はその活用がまだ始まって間もないこともあり、その利用については、注意が必要である。ソーシャルメディアの反応から得られる指標は、あくまで影響度の絶対値の測定結果であるので、評価には、誰が何の目的で評価を行うかを考慮した価値判断が別途必要である。また、恣意的な指標操作を排除することも考慮した手法を十分検討する必要がある。加えて、メディアの特性にも留意する必要がある。平成22年度学校教員統計調査³⁸⁾によると、大学教員の平均年齢は、教授(57.7歳)、准教授(46.5歳)、助教(37.9歳)であるが、ソーシャルメディアの利用には、少なくとも現在の日本全体としては世代間に差があり、40代以上では過半数以上が利用したことが無いという報告がある³⁹⁾。このような世代間の違いを踏まえた取り扱いが必要となってくる。

図7 個別論文の影響度の計量の動きと背景となる技術変化



た¹⁸⁾。

さらなるネットワーク環境の充実に伴い、インターネット上でソーシャルメディアが誕生した時期に個別論文単位での細やかなデータ測定を行う Altmetrics が2010年頃に登場した。この動きを明確に方向付け、Altmetrics という用語を世に知らしめたのは、2010年に公開された Altmetrics manifesto⁶⁾ である。Article Level Metrics は、ソーシャルメディアを中心とした、他の情報源との組み合わせによる影響度を測定して表示するようになった。Twitter、Facebook などのソーシャルメディアでの言及数、ブログやニュースサイトでの言及数、あるいは、文献管理ツールやソーシャルブックマークサービスの評判（保存数）などを論文ごとに表示できるようになった（図1）。

このような Altmetrics の利用は、閲覧者を選ばないオープンアクセスプラットフォームから始まったが、Nature、イギリス物理学会出版局、HighWire など、購読費モデルを主とする伝統的な最大手の学会出版者、商業出版者のプラットフォームでも採用の動きが進み始めている¹⁹⁾。

3-2

Altmetrics 手法の誕生と 発展の情報技術・学術情報 流通上のキードライバー

個別論文の影響度測定手法発展の歴史的展開からは、紙から電子へ情報メディアが移行し、情報基盤が Web からクラウドに、電子ジャーナルがオープンアクセスに拡張し論文単位で流通が可能になった技術的発展、裏付けがあって実現された。このことをよりわかりやすく示すため、以下では、Altmetrics 手法の誕生と発展のキーとなった情報技術・学術情報流通上のドライバーについてそれぞれ詳述する。

3-2-1 冊子媒体の中抜き：論文単位で検索され、読まれる電子ジャーナル

1990年後半から Web インフラが情報流通基盤として広く浸透するようになると、研究者は電子ジャーナルを通じて、冊子の時代に比較して圧倒的に膨大な文献情報に触れる機会を得た。研究者は年間論文数が依然増加を続ける中、以前と比較して桁違いに多い情報の中から必要なものを探す必

要に迫られている。その結果、研究者の情報収集はかつてのようにジャーナル単位で自身の専門情報を得るスタイルから、web 検索、データベース検索、情報管理ツールなどを利用した論文単位の情報収集スタイルに変わってきた²⁰⁾。個々の論文を印刷ではなく画面で読むスタイルも浸透し始めており²¹⁾、モバイル端末や、タブレットの利用が進むことで個々の論文を持ち歩いて必要なときに読むスタイルが今後浸透することも予想される。

論文がジャーナルから離れて個別に流通し、個別に影響度が測られることは、「どのジャーナルに掲載されたか」から、「掲載された論文が広くどのような影響を与えたか」の時代への転換を促す可能性がある。出版後世にその内容を問うという点において、閲覧者を選ばないオープンアクセスジャーナルは購読が必要なジャーナルより有利であり、その影響力を測る Altmetrics とは相乗効果を生み出す関係にあると言える⁷⁾。

3-2-2 クラウド化と SNS による 収集可能データの増大：文献管理 ツール Mendeley の誕生

また、研究者は研究のために収集した多くの論文を管理する必要があり、文献管理ツールも進化

を辿った。初めは、個々人の文献をPCのローカル領域に管理することから始まったが、最近では、iTunesの曲情報のようにクラウド(Cloud)上のパーソナルスペースに論文情報を置き、その書誌情報データベースをクラウドソース(Crowd Source)化して構築し、参加者が増えるほどそのメリットが増すという外部ネットワーク効果を生かしてユーザー間で効率良く書誌データベースを作成、共有することも可能となった。2008年に立ち上がった文献管理ツール、Mendeleyでは、すでに200万人を超えるユーザーがクラウド上に億を超える回数のアップロード作業にて協同で作り上げた約6500万のユニークな文献情報が存在する²²⁾。この数は、すでにトムソンロイター社(4900万)やエルゼビア社(4600万)が持つ文献データベースの数を超えており、このクラウド上に蓄積された情報を解析してどの論文がユーザーに保存され、レベルの高い研究者に具体的にどの程度影響を与えているかを測定できるようになった。さらに研究者間のコミュニケーションを促すSNS(ソーシャルネットワーク)の機能も加えて、単なる文献管理ツールの枠を超えた研究者向けのコミュニケーションサービス基盤を提供している。このようなツールでも個々の論文単位でその情報が流通している^{23,24)}。

3-2-3 ジャーナルランキング変動の可能性：オープンアクセスの浸透とメガジャーナルの誕生

電子ジャーナル化が生み出した大きな情報受発信基盤の変化に、オープンアクセス(OA)をベースとした出版インフラの登場と浸透がある²⁵⁾。オープンアクセスジャーナルにここ2-3年に見られる大きな変化は、広い分野から大量の論文を集めるOAメガ

ジャーナルの台頭である。オープンアクセスメガジャーナルの代表例であるPLoS One誌では2006年の発刊後3年で7000本近い論文を掲載し、比較的高いインパクトファクターを得ると掲載数が躍進し2011年には年間13800本の論文を掲載した。他のオープンアクセスジャーナルと合わせて、無視できない規模に成長している。このように論文のオープンアクセス(OA)化が浸透し、OAメガジャーナルが高いインパクトファクターを短期間に獲得するなど、一定の影響を持つようになった。この結果、ImpactFactorを利用して研究者個人の業績評価を行うなどジャーナル単位で掲載論文を評価するという旧来の前提に大きな揺らぎが生じている。事実、ある成果を得た研究者の行動として、掲載されるだけで事実上評価されるようなハイインパクトジャーナルの掲載が難しい場合は、先に紹介したOAメガジャーナルで早く掲載し、評価は公開後世に問うこととすることを望む可能性が議論されている²⁶⁾。

OAメガジャーナルでは、広い分野から多数の論文を集め、科学的に特段の問題がなければ、新規性や有用性を問わずに早く出版するスタイルを取っている。査読の手法と質はそのジャーナルの性格を決める重要な要素であるが、OAメガジャーナルにおいてはその査読では特色を出さずに論文単位で迅速かつオープンな流通を促し、評価は事後に研究者に問う形となっている。このため、研究者が成果を公開する際にどのようなジャーナルを選択するか、また、オープンアクセスとAltmetricsの組み合わせが、これまでの従来の商業出版社のジャーナルの査読体制と質のコントロールに与える影響に注視する必要がある。

3-3

ネットワーク利用・データ環境の向上・拡張可能性：リンク、API利用の浸透

論文単位での流通は個々の論文に関連する他の情報との連携も可能にした。一つは、引用リンクであり、引用した、引用された論文同士を直接結びつけ、閲覧者にどちらからも関連論文が簡便に見られるようになった。また、最近ではAPI(Application Programming Interface)²⁷⁾の開発と運用が成熟し、論文の識別子を中心としたメタデータをキーとして、様々なデータベースから論文に関する情報を組み合わせて集めること(マッシュアップ)が可能になった。先に紹介したMendeleyでは月に1億回以上のAPI参照が行われ、後述する情報サービスに利用されている²²⁾。

APIやリンクを用いることで、単にジャーナル間だけではなく、様々な情報資源から効率良く情報を組み合わせて、新しい価値を生む情報サービスを提供することが可能となった。トムソンロイター社のInCitesやエルゼビア社のSciValなど、被引用数ベースで研究パフォーマンスを測定するツールがすでに製品化しており、これにAltmetricsを取り入れたSymplecticやPlum Xが開発されている²⁸⁾。ORCIDと呼ばれる世界レベルで研究者の識別子を付与するプロジェクト²⁹⁾や、FundRefと呼ばれる研究資金に対する識別子³⁰⁾の付与も進んでいる。前報で³¹⁾研究者、研究機関、アウトプットとしての論文数とその影響度が一元管理されて研究パフォーマンスが測られる時代の到来を指摘したが、着々とその製品化が進んでいる。これらのツールを適切に利用することで、研究者、

研究機関の評価の支援に役立てることが可能である。

一方、最近では、日本の研究者でも研究成果を論文という媒体に限らず YouTube など動画で公開するケースも出始めた。その場合は動画の閲覧数が影響度指標として今後有効となりうる⁴⁾。

また、ブログに限らず、発表スライドを共有する SlideShare や、論文を構成する図表自体を共有する FigShare、データセットなど、論文以外の研究成果公開メディアの浸透も進んでおり、米国科学財団 (NSF) のような助成団体も、このような論文以外の研究

成果物にも注目し始めている³²⁾。Altmetrics はこのような、論文以外の成果物に対してもその情報を識別するキーをもとにソーシャルメディアの評判を中心とした影響度測定へと拡張することが可能であり、これが Altmetrics の持つもう一つの大きな特徴でもある³³⁾。

4 研究者・機関や政策担当者の対応

本稿では、研究成果の公開メディアとして、ジャーナルの論文を主体として、歴史的経緯も踏まえた議論を行ってきた。Altmetrics では、これまでは測定不能であった一般社会への影響度も測定できる可能性があるなど、研究論文に対しより複合的な評価が可能となる。すでに、世界の主要なジャーナルにも採用され、研究パフォーマンス測定ツールにも組み入れられている。このため、研究者・機関や政策担当者は、Altmetrics が研究評価や学術情報流通、さらに将来的に政策分析・評価にも利用可能なツールとして認識し、日本国内でも今後に向け

た対応を始めておく必要がある。

研究者は、この手法を社会一般からの自身の研究の注目度と専門家集団における注目度の差異を見るなど、日常的な研究活動で道具として自然に便利に使いこなすようになって考えられる。一方、研究機関では、ImpactFactor を利用して研究者個人の業績評価を行うなどジャーナル単位で掲載論文を評価するといったような業績評価方法は必然的に見直しを迫られる可能性がある。同様に、政策担当者は、幅広いデータを科学技術・イノベーションに関するデータを体系的に収集し、政策の立案に活かすという複雑なデータ処

理・分析が求められる。さらに、どういう価値軸に基づいて研究を評価したらよいか、ファンディング評価上の一層悩ましい課題に直面することになる可能性がある。

しかし、Altmetrics は未だ発展途上の影響度測定・評価手法である。このため、データの可測範囲の拡大を活かして、研究者・機関・政策担当者それぞれの問題関心に沿ったデータの集計・測定に向け、今後それぞれの立場でユーザーとして利用の効用と限界を押さえて当該手法を使いこなすことが求められてる。

参考文献

- 1) 倉田敬子. 学術情報流通とオープンアクセス. 勁草書房. 2007.
- 2) <http://scholar.google.co.jp/>
- 3) Hirsch, J. E. An index to quantify an individual's scientific research output. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2005, vol. 102, no. 46. : <http://dx.crossref.org/10.1073%2Fpnas.0507655102>.
- 4) 宮川剛. 科学技術研究における多様なメトリクス的重要性—研究者の視点から. *情報管理*. 2012, vol. 55, no. 3, p. 157-166.
- 5) J. Bar-Ilan, et.al. Beyond citations: Scholars' visibility on the social Web. *arXiv.org*, 2012, arXiv: 1205.5611 : <http://dx.doi.org/10.1241/johokanri.55.157>.
- 6) Taraborelli, D.; Groth, P.; Neylon, C. altmetrics: a manifesto, (v.1.01) . 2010-10-26 : <http://altmetrics.org/manifesto>.
- 7) 坂東 慶太. Altmetrics の可能性 ソーシャルメディアを活用した研究評価指標. *情報管理*. 2012, vol. 55, no. 9, p. 638-646.
- 8) <http://www.plosone.org/>
- 9) <http://www.mendeley.com/>, <http://www.citeulike.org/>
- 10) <http://impactstory.org/>
- 11) Adie, Euan. "Altmetric.com - making article level metrics easy". *Digital Science* :

- http://www.digital-science.com/blog/posts/altmetric-com-making-article-level-metrics-easy.
- A. Euan, R. William. Altmetric: enriching scholarly content with article-level discussion and metrics. Learned Publishing, 2012, Vol. 26, No 1, p. 11-17.
- 12) <http://blogs.nature.com/news/2012/12/what-were-the-top-papers-of-2012-on-social-media.html>
- 13) <http://togetter.com/li/353759>
- 14) Beyond Publish or Perish: Alternative Metrics for Scholarship :
http://www.niso.org/news/events/2012/nisowebinars/alternative_metrics/
- 15) Eysenbach, G. Can Tweets Predict Citations? Metrics of Social Impact Based on Twitter and Correlation with Traditional Metrics of Scientific Impact. Journal of Medical Internet Research. 2011, vol. 13, no. 4, e123 :
<http://www.jmir.org/2011/4/e123/>.
- 16) J. Priem, H. A. Piwowar, B. M. Hemminger. Altmetrics in the wild: Using social media to explore scholarly impact. arXiv.org, 2012, arXiv:1203.4745
- 17) 白木紀行、松村浩平、松本梓、「景気判断における検索データの利用可能性」、日本銀行調査統計局、2013年1月30日 :
http://www.boj.or.jp/research/brp/ron_2013/ron130130a.htm/
- 18) <http://article-level-metrics.plos.org/>
- 19) ソーシャルメディアの反応を含めた論文の新しい影響度測定、科学技術動向, No. 133, p. 8.
- 20) 林 和弘. 科学技術動向研究 理工医学系電子ジャーナルの動向—研究情報収集環境と事業の変革. 科学技術動向. 2007, No.71, p. 17-29.
- 21) http://www.casalini.it/retreat/2012_docs/tenopir.pdf
- 22) <http://blog.mendeley.com/open-access/mendeley-handles-100-million-calls-for-open-science-per-month/>
- 23) NISTEP 所内講演会 “研究者間コミュニケーションを根本から変える文書管理の変革”. NISTEP 講演録. no. 286. 2011-12-08.
- 24) ヘニング ビクトール. 研究者コミュニケーションを根本から変える文書管理の変革 : Mendeley CEO が語る学術情報流通の将来. 情報管理. vol. 55, no. 4, 2012, p. 253-261 : <http://dx.doi.org/10.1241/johokanri.55.253>
- 25) 林 和弘, 電子ジャーナル化とオープンアクセスの動向 (特集 電子ジャーナル化と科学コミュニティの変化), 文部科学時報, 1616, 2010 p. 30-32 : <http://ci.nii.ac.jp/naid/40017302309/>
- 26) 第5回 SPARC Japan セミナー 2011 「OA メガジャーナルの興隆」 :
<http://www.nii.ac.jp/sparc/event/2011/20120229.html>
- 27) 藤井章博, 「広がる Web API の活用—マッシュアップの幅広い可能性—」、科学技術動向 No.106、2010, p.9-18.
- 28) InCites : <http://ip-science.thomsonreuters.jp/products/incites/>,
SciVal : <http://japan.elsevier.com/products/scival/index.html>,
Symplectic : <http://www.symplectic.co.uk/>, Plum Analytics : <http://www.plumanalytics.com/>
- 29) <http://about.orcid.org/>, http://www.nii.ac.jp/sparc/event/2010/pdf/7-2/doc2_takeda_20110114.pdf
- 30) <http://www.crossref.org/fundref/index.html>
- 31) 林 和弘. 論文誌の電子ジャーナルをめぐる最近の動き. 科学技術動向. 2009, No.100, p. 10-18.
- 32) 遠藤 悟. 米国国立科学財団 (NSF) の評価基準の改訂—基礎科学研究活動が潜在的に持つ社会的インパクトに関する新たな理念の提示—. 科学技術動向. 2013, No.134, p. 13-19.
- 33) S. Heustein, “Multidimensional journal evaluation : analyzing scientific periodicals beyond the impact factor,” De Gruyter/Saur, 2012
- 34) Noorden, R. V. Metrics: A profusion of measures. Nature. 2010, vol. 465, no. 7300, p. 864-866.
- 35) Eugene Garfield (June 1998). "The Impact Factor and Using It Correctly". Der Unfallchirurg 101 (6) : 413-414. PMID 9677838.
- 36) <http://readerimeter.org/>
- 37) <http://www.cks.u-tokyo.ac.jp/workshop/symp2013.html>
- 38) 平成 22 年度学校教員統計調査学校教員統計調査 :
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001038417&cycode=0>
- 39) 平成 23 年度版 情報通信白書 第 2 部 特集 共生型ネット社会の実現に向けて 第 3 章 「共生型ネット社会」の実現がもたらす可能性 : <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h23/html/nc232310.html>

執筆者プロフィール



林 和弘

科学技術動向研究センター 上席研究官

専門は学術情報流通。1990年代後半より日本化学会英文誌の電子化と事業化に取り組み、オープンアクセスにも対応した。電子ジャーナルから発展する研究者コミュニケーションの将来と、学会、図書館、大学の変革に興味を持つ。

ポーター仮説とグリーン・イノベーション

—適切にデザインされた環境インセンティブ環境規制の導入—

伊藤 康
客員研究官

浦島 邦子
グリーンイノベーションユニット

1 はじめに

環境保全と経済発展の間には、トレード・オフの関係があると考えられることが多い。完全なトレード・オフになるかどうかに関しては議論が分かれるとしても、両者を両立させるには様々な困難があるのは事実である。その困難を乗り越えて初めて環境保全と経済発展の両立が可能になるが、そのためには何らかのイノベーションが不可欠である。世界的に環境問題の深刻さや重要性が認識されるにつれて、環境分野におけるイノベーションを経済発展・成長に結びつけようという発想も出てくるようになった。日本でも「グ

リーン・イノベーション」が成長戦略の柱の1つとして掲げられている。イノベーションとは元来、不確実なものであるから、それを確実に引き起こすことはできないが、少しでもその可能性を高めることが求められている。

本稿は、環境保全と経済発展を両立させるようなイノベーションが起こる可能性を高める政策とはどのようなものであるかを明らかにすることを目的としている。はじめに環境保全・改善を実現することで経済発展・成長に寄与することを意図した米国や日本での取り組み・戦略を概観する。次に

1990年代初頭以降、環境規制・政策とイノベーションの関係について幅広い議論をまき起こした「ポーター仮説＝適切な環境規制はイノベーションを誘発する」を俯瞰的に検討する。そして、ポーター仮説をめぐる議論で浮き彫りになってきた様々な論点を参考にしながら、環境保全と経済発展を両立させるようなイノベーションを促すために必要な諸条件について検討し、さらには両立を可能にするような制度設計を実現するために求められている研究の方向性について考察を行う。

2 成長戦略としてのグリーン・イノベーション

2-1

グリーン・ニューディール

環境分野におけるイノベーションを経済発展・成長に結びつけようという発想の典型が「グリーン・ニューディール」である。リーマンショック直前の2008年

7月にイギリスのNew Economic Foundationという団体が、金融・財政の再構築などとともに、再生可能エネルギーへの展望を明示したエネルギー政策の再構築、環境再生事業による雇用の創出などの政策提言を行い、それを「グリーン・ニューディール」と名付けたのである¹⁾。

同じ頃米国では、Center for

American Progressという団体によって、環境関連技術の分野で200万人の雇用を創出する「グリーン・リカバリー」が提案された²⁾。2008年の大統領選で、オバマ候補（当時）がグリーン・リカバリーの考え方を新エネルギー政策として取り入れ、2008年9月に起こったリーマンショックによる大不況からの脱却のための景

気対策・雇用対策と結びつけた。また、国連環境計画（UNEP）が2008年10月に、「グローバル・グリーン・ニューディール」と名付けられたグリーン経済イニシアティブを立ち上げ³⁾、さらにオバマ氏が大統領選挙に勝利すると、グリーン・ニューディールという言葉とともに、そのコンセプトが世界的な広がりを見せるようになった。なお、「グリーン・ニューディール」というと、1930年代の大恐慌期からの脱却を意図したニューディール政策のイメージが強い⁴⁾ため、オバマ大統領自身の言葉と思われがちであるが、オバマ大統領自身は、公式の場で「グリーン・ニューディール」という言葉を使ったことはないとのことである⁴⁾。

2-2

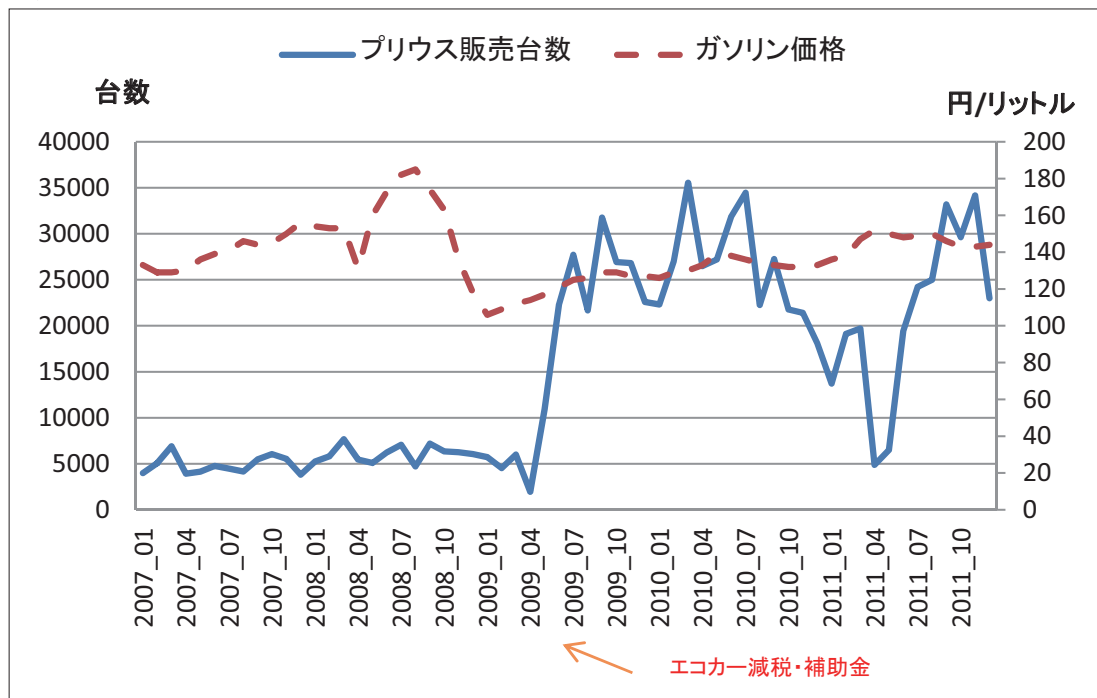
日本の成長・再生戦略

バブル崩壊以降、20年近く続

く経済停滞から脱却することが強く求められている日本においても、「エコ・イノベーション」といった言葉が、様々なところで使われるようになった。環境と経済の両立という点では、イノベーションという言葉こそ使われていないが、2009年4月にはリーマンショック後の景気対策として、一定の排出ガス基準等を満たす自動車（エコカー）に対して、大幅な自動車関連税の減税および購入時の補助金が導入された（エコカー減税・エコカー補助金）。特にハイブリッドカー等の「次世代自動車」については、自動車重量税と自動車取得税が全額免除となったので、非常に大きな普及促進効果があった。図表1は代表的なハイブリッドカーの月別販売台数の推移を示したものであるが、減税・補助金導入以降、大幅な増加が続いており、ガソリン価格上昇に伴う販売台数の増加ではなく、明らかに減税・補助金の効果が認められる。

2009年12月に閣議決定された「新成長戦略—輝きのある日本へ」では、「グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略」が「ライフ・イノベーションによる健康大国戦略」と並んで、成長戦略の1つの柱とされるようになった。ここでは、グリーン・イノベーションとは何かという定義は明確にはなされておらず、大まかに「環境・エネルギー関連分野でのイノベーション」といった意味合いで用いられている。2020年までの目標として、①50兆円超の環境関連市場、②140万人の環境関連新規雇用、③日本の技術を利用し世界の温室効果ガス13億トン削減、が掲げられ、そのための施策として①固定価格買取制度拡充による再生可能エネルギーの拡大、②住宅・オフィス等の（CO₂）ゼロエミッション化、③革新的技術開発の前倒し、④規制改革・税制のグリーン化を含めた総合的パッケージを活用した低炭素社会実現に向けての集中投資事業、があげられている。一口に

図表1 月別プリウス販売台数の推移



出典：日本自動車販売協会連合会ホームページ
 (<http://www.jada.or.jp/contents/data/index.html>) および日本エネルギー経済研究所石油情報センター
 ホームページ (<http://oil-info.ieej.or.jp/price/price.html>) より科学技術動向センター作成

環境分野といっても非常に幅広いが、この新成長戦略でグリーン・イノベーションの対象として考慮されているのは、地球温暖化防止に関わる分野である。世界的に地球温暖化防止に取り組まなければならないのは明らかであることから、温暖化防止に関わる分野は有望な成長分野であり、「低炭素化」への移行に伴う需要拡大により、環境保全（＝地球温暖化防止）と経済成長を両立させようという「戦略」であった。

さらに、2012年7月に閣議決定された「日本再生戦略」では、東日本大震災および福島第一原子力発電所事故を踏まえ、原発依存度の低下が新たな課題となり、「グリーンへのシフトを、いかに我が国の成長につなげるかが極めて重要な課題である。そのための戦略がグリーン成長戦略であり、現在の我が国にとって、最優先で取り組むべき事項といえる」とされている。また、「グリーン・イノベ

ションという情報通信技術とエネルギー関連技術が結びついた大きな技術革新の波」、あるいは「グリーン・イノベーションは、エネルギーという分野にとどまらず、通信、交通・自動車、建物、都市、医療、安全、安心などの分野との新結合により、イノベーションの連鎖を起こし、社会の変革、新しい産業の創出、産業構造の深化を実現するものである」といった記述がある。これらを見ると、グリーン・イノベーションとは単に環境・エネルギー関連分野におけるイノベーションにとどまらず、他の部門との「新結合」を意味しているようにも見えるが、明確な定義がなされているわけではない。

いずれにせよ2000年代半ば以降は、グリーン・イノベーションが日本の停滞からの脱却、そして大震災以降は復興・再生の柱の1つとして位置づけられようになった。グリーン成長を社会の大変革につなげていくための政府の

役割として、①目標の「見える化」と共有、②競争的な市場の創造、③規制・制度の見直し、④新しい公共財／プラットフォームの整備、⑤リスクの管理・補完、⑥グローバルな視点での官民による市場戦略、の6つがあげられている。すなわち、「目標を明確に示し、イノベーションの障害となっている既存の規制等があれば、それを緩和・改革する。イノベーションの基礎となる様々なインフラストラクチャーの整備を行う。民間だけではリスクを負いきれない研究開発投資に関しては、政府が何らかの形で助成を行う。」ということである。再生戦略は、文字通り国全体の戦略を示すものであるから、詳細は述べられていないとしても、潜在的な成長分野である環境・エネルギー分野における「イノベーション」に対する障害を除去することに重点が置かれている。

3 「制約」の重要性：ポーターの問題提起

環境・エネルギー関連部門が今後の成長分野の1つであることは、恐らく間違いのないであろうが、どの程度その部門の成長が見込めるかは、他の部門と比較して現段階では政策によって左右される部分が多い。再生可能エネルギーを例にとると、固定価格買取制度のような再生可能エネルギー事業者にとっての助成的措置だけでなく、それ以外の電源に対する何らかの制約となるような環境規制（政策）も影響を与える。むしろ、環境規制による制約、あるいは明確な目標の設定によって方向性がある程度定められ、固定価格買取制度などのような措置はその方向への変化を促進する手段と位置づけられる。

しかし、一般に環境規制・政策は、企業にとって利益を圧迫する、望ましからざる費用負担を押し付けるものであり、必然的に企業の競争力を弱めるものと考えられている。それ故、環境破壊による被害が発生している場合でも、環境規制の導入には産業界を中心に強い反対が起きることが多い。それに対して環境規制導入を支持する側は、規制がもたらす経済的打撃はそれほど大きくない、あるいはたとえ打撃が大きかったとしても人の健康や貴重な環境を守る必要があるといった主張をすることが一般的であった。立場の違いこそあれ、環境規制は経済にとってマイナスになる、すなわち環境保全と経済発展の両立は極めて困難で

あるという点では一致している場合が多かったといえる。

このような環境規制は競争力を弱める、両者の間にはトレード・オフが存在するという「常識」・「通念」に対して、ハーバード大学の経営学者マイケル・ポーター教授は一石を投じた。Porter [1991]において、「厳しい環境規制は、費用節減・品質向上につながる技術革新を刺激し、その結果他国に先駆けて環境規制を導入した国の企業は国際市場において他国企業に対して競争優位を得る」という主張がなされたのである⁵⁾。環境規制がマクロ経済全体に対して与える影響は、汚染除去・公害防止投資の有効需要創出効果があるので必ずしもマイナスにならないとい

う議論は、これまでも度々行われてきた。すなわち、汚染を大量に排出する産業は、汚染の排出規制が導入されれば汚染除去設備の設置等の費用負担を余儀なくされ、利益等の縮小要因となるが、例えばプラントメーカー等の汚染除去装置を供給する産業にとってはビジネスチャンスであり、売り上げが増加すると考えられるので、マクロ経済の観点からすれば縮小する分野と増大する分野があり、後者の効果の方が大きければ、必ずしもマイナスにはならない、という議論である。

しかしポーターがここで主張したのは、規制により費用負担を強えられる産業に属する個々の企業も、イノベーションが誘発されることによって競争力が向上する可能性があるということである。彼はその根拠として、米国の産業の中でも比較的環境費用の負担が大きかった化学産業が国際競争力を強めたこと、また様々な面で環境規制が相対的に厳しいドイツと日本が米国よりも GNP や生産性の上昇率（当時）が高かったことなどをあげている。

このポーターの主張は、元々は分量 1 ページの論文というよりは「記事」というべき記述において述べられたもので、議論を十分に尽くしたものとは言い難かったが、著者が非常に著名な研究者ということもあってか、その後この主張は度々引用され、「ポーター仮説」(Porter Hypothesis) と称せられるようになる。さらに経済学専門誌の Journal of Economic Perspective に掲載された Porter & van de Linde [1995] において、

改めて同様の主張がなされた⁶⁾。そこでのポーターらの主張は、「適切に設計された環境規制は、それに対応するためのコストの一部あるいは全額以上を相殺するイノベーション（イノベーション・オフセット）を誘発する」というものである。非常に多くのケーススタディを引用しながら、「競争優位は静学的効率性や固定された制約の下での最適化ではなく、制約自体をシフトさせるイノベーションの能力に依存する。厳しい環境規制もイノベーション能力を刺激することによって、競争力を高めることができる。意思決定の際に企業はつねに最適な選択を行っているとは限らないため、適切にデザインされた環境規制の導入によって、何らかの原因で看過されている潜在的な技術革新の機会が顕在化する」と述べた。

この「厳しい環境規制はイノベーションを誘発し競争力を向上させる」という仮説は、特に日本にとってなじみが深い考え方かもしれない。日本は 1970 年代前半から半ばにかけて厳しい自動車排気ガス規制を課し、その基準をクリアする技術の開発を行いながら、その後、自動車産業の競争力を飛躍的に高めた経験を持つからである。既に 1960 年代には自動車排気ガスによる大気汚染被害が発生していた米国は、自動車排気ガスに含まれる一酸化炭素、窒素酸化物等を 1976 年までに 10 分の 1 にする「大気清浄化法」（通称マスキー法）を 1970 年に成立させた。自動車排ガスによる大気汚染被害が深刻化し始め、また米国への輸出が増加しつつあった日本

においても、米国と全く同様の排気ガス規制の導入が議論された。しかし米国では、「ビッグスリー」による強力な反対もあって、規制の導入は大幅に延期され続け、排気ガスを大幅に浄化する技術の開発は十分に行われなかった。一方、日本でも米国の規制実施延期をうけて、大手自動車メーカーをはじめとした規制実施延期の声が強くなったが、大気汚染被害に直面していた大都市地方自治体の首長らによる規制完全実施の要求や、規制実施を契機にシェア上昇を目指した下位メーカーが必ずしも規制大幅延期を望まなかったこともあり、当初の予定よりも 2 年遅れはしたものの 1978 年には当初の厳しい排気ガス規制が導入されることとなった。その後の日米の自動車産業の推移は対称的である。排気ガス規制を大幅延期した米国では、自動車産業は苦境に陥った一方、日本車は米国市場で品質が評価され、大幅に売り上げを伸ばした。日米の排気ガス規制およびその後の自動車産業のパフォーマンスの対称的な動きから、排気ガス規制は単に排気ガス浄化技術の開発・普及にとどまらず、燃費向上等、他の技術を向上させ、日本車の競争力向上につながったと評価されているのである。

ただし、ポーターのオリジナル論文では、マスキー法をめぐる事例に関して、米国の自動車メーカーが規制導入の影響を過大評価したことについて触れられているだけで、日米の自動車産業の対比という形で論じられているわけではない⁷⁾。

4 ポーター仮説とは何か？

4-1

ポーター仮説の「分類」

ポーターの主張は、学界だけでなくビジネス界にも非常に大きなインパクトを与え、環境政策のあり方等に関して広範な議論を巻き起こし、現在でもそれに影響された議論は続いている。しかし、ポーターが紹介した事例には様々なタイプのイノベーションが含まれており、若干の混乱が見られる。Jaffe and Palmer [1997] は分析上の混乱を避けるため、ポーターの主張を以下のように「狭い」、「弱い」および「強い」の3つのバージョンに分類した。

1) 狭いポーター仮説

狭いバージョンとは、被規制者の創意工夫が認められるような環境規制はイノベーションを誘発する、というものである。当然、それはどのような規制かが問題になる。様々な環境政策手段が技術に対してどのような影響を与えるかということは、環境経済学における大きな関心の1つであった。イノベーションを誘発するような政

策手段は「動学的効率性」に優れた制度であり、目標とする水準を達成するためにかかる社会全体のコストの小ささを基準とする「静学的効率性」と並んで、環境政策手段の重要な評価基準となっている。これまで多くの理論分析が行われてきたが、概ね汚染排出基準を定めるような直接的な規制よりも、排出課徴金（環境税）や排出許可証取引のような経済的手段の方がイノベーションを促進するという結果が得られることが多い。その理由は、直接規制の下では排出基準までしか汚染の排出を抑制するインセンティブが働かないのに対して、経済的手段では汚染を排出する限り負担が生じるので、排出削減にかかるコストに依存するが、継続的に排出削減インセンティブが働くことが期待できるからである。

ポーターも、生産プロセスにおける技術指定といった企業の創意工夫が困難な規制ではなく、汚染排出総量の規制等、達成される結果のみを問うような規制＝適切にデザインされた規制にすることが重要であるとし、米国における環境政策手段のあり方を問題にし、さらに市場メカニズムを利用した

政策手段の優越性も指摘している。この点では「主流派経済学」の主張とほとんど変わらない。むしろ、これを実証することは主流派経済学の課題となっている。

2) 弱いポーター仮説

弱い仮説は、環境規制は投入要素や生産される財・サービスの相対価格を変化させるので、「ある種の」イノベーションを誘発するものである。一般に「ある種の」とは、環境負荷を低減するような、ということになる。環境規制は企業に対して何らかの対応を迫るものであるから、それにより環境負荷が低い技術が開発され普及すれば、この狭い仮説は成り立つ。これは当然のことと考えられるかもしれないが、環境規制に対して生産量の減少や環境規制が緩い国・地域へ転出するという対応もあり、その場合はイノベーションは起きない。これまで導入されてきた環境規制により、多くの低環境負荷技術が新たに開発され、また大規模に普及してきたという事実を見ると、この「弱い仮説」はかなりの程度成り立ってきたと考えられる。ただし、弱い仮説が成立したとしても、環境規制

図表1 ポーター仮説の3分類

狭い仮説	・被規制者の創意工夫が認められる環境規制の方がイノベーションを誘発する
弱い仮説	・適切にデザインされた環境規制は何らかのイノベーションを誘発する(生産性を向上させるようなものとは限らない)
強い仮説	・適切にデザインされた環境規制は費用を上回る便益をもたらすようなイノベーションを誘発する

に対応できるようなイノベーションを誘発するというだけで、それが規制の影響を受けた企業の競争力を向上させるようなイノベーションかどうかは問題としていない。もし、規制によって研究開発のための資金が競争力を向上させるためではなく、規制への対応のためだけに利用されれば、競争力や生産性の低下を引き起こす可能性は否定できない。

3) 強いポーター仮説

「適切に設計された環境規制は、企業の視野を広げ、それまで気づかなかった技術革新の機会を追究するようになることで、規制に対応するためのコストを上回る便益をもたらすイノベーションを誘発する」というものである。すなわち、環境規制という外性的な「ショック」によって企業は様々な非効率の存在に気づき、それを是正しようとすることで、コスト削減、ひいてはイノベーションが可能になるということである。

この「強い仮説」こそが、ポーターが本来意図したと思われる仮説である。環境規制によってこれまで看過されてきた技術革新が顕在化するという経営学者ポーターの主張に対しては、「主流派」経済学者の側からは厳しい批判が投げつけられた。その最も代表的なものは、Porter & van de Linde [1995] と同じジャーナルに掲載された Palmer et al., [1995] である。Palmer et al., [1995] らは、環境規制を強化することで利益を増大させることが可能であるなら、合理的な企業が構造的にそのような機会を見逃すことはない、ポーターらの議論はフリーランチが存在するといっているのに等しいと主張し、ポーター仮説の妥当性を理論的に否定した⁸⁾。

ポーターらはケーススタディを根拠に競争力強化の「可能性」を論じているのに対し、Palmer et

al., [1995] は合理的な企業を前提にした理論分析においては特殊な状況を設定しない限り競争力を向上させるのは不可能と論じている。Palmer et al., [1995] も、企業がつねに最適な選択を行っているとは信じているわけではないと言明しているが、最適な意思決定を基礎とする（新古典派）経済学と進化的な（evolutionary）な枠組みに基づいたポーターらの方法論の相違もあるためか、両者の議論は必ずしも噛み合っているとはいえない。ポーターらのように環境規制によって競争力を向上させた事例をいくら挙げたとしても、利潤極大化を目指す合理的企業のモデルからは、規制がなければ競争力はより強化された、という反論が可能になる。

いずれにせよ、ポーター仮説が成立するかしないかは、極めて実証的な問題である。以下、ポーター仮説に関する実証研究について概観してみる。

4-2

ポーター仮説の検証

環境政策とイノベーションの関係については、これまで非常に多くの実証（定量）分析が行われてきた。Ambec et al., [2011] は、これまでに行われた環境政策とイノベーションの関係に関する主な実証研究の一覧表を作成しているが⁹⁾、Jaffe and Palmer [1997] による分類でいう「弱いバージョン」＝「環境政策は何らかのイノベーションをもたらす」に関しては、多くの実証分析が肯定的な結果を示している。この結果を逆の面から述べれば、環境規制が導入・強化されても、多くの企業はすぐに環境規制が相対的に緩い海外への移転をしたりはせず、規制に対応するための努力を行うということを示し

ている。一方、「狭いバージョン」＝「環境税等の経済的手段はより一層イノベーションをもたらす」は、理論的には大方の同意を得ているものの、定量的には必ずしもそれを支持する結果が多いわけではない。Kemp and Pontoglio [2011] は、環境政策とイノベーションに関する実証分析を包括的にサーベイした上で、「環境税が直接規制か」といった環境政策の手段の選択は、環境政策の強度と比較して、決定的な影響を与えていないと述べている¹⁰⁾。実際、環境税は漸進的な技術普及には効果的なことが多いが、画期的なイノベーションをもたらしたという研究結果はあまりない¹¹⁾。これは、例えば汚染の排出量に応じて課税されるようなタイプの環境税が効果的であるためには、ある程度税率が高くなければならないが、高い税率の環境税を導入することは現実的には極めて困難であるため低い税率にとどめざるを得ず、イノベーションを促進することがなかったということであろう。あるいは、環境税等の政策手段が導入されるのは、直接的な規制が導入されてからしばらく経ってからのことが多いので、既に重要な技術開発は行われてしまっており、研究開発に関する限界的な生産性が低下している可能性もある。

それでは、「強いバージョン」に関してはどうか。環境規制が企業利益あるいは生産性を有意にプラスの影響を与えるという結果が得られた実証研究はいくつかあるが、あまり多くない。純粹に「数」だけみれば、「強いバージョン」を支持する実証研究よりも否定的もしくは有意な影響はないという実証研究の方が多いと言えるだろう。しかし、規制が企業利益や生産性にマイナスの影響を与えるという実証研究は、ポーター仮説の動学的側面を十分に考慮していない場合が多いという指摘もあ

る。環境規制がイノベーションを起こすにはある程度の時間が必要であるが、いくつかの実証分析は、説明変数と被説明変数の間のラグをとらずに分析を行っている。環境規制の強度と生産性の間の関係に関して3、4年のラグを導入することによって、Lanoie et al. [2008] は厳しい環境規制が長期的には若干の生産性向上をもたらすことを示した。この結果は、より国際的な競争にさらされている部門において顕著であり、動学的側面をより重視した分析の重要性を示唆している。

4-3

環境規制が イノベーションをもたらす メカニズムの解明

適切にデザインされた環境規制は企業の競争力、あるいは生産性を向上させるという「強いポーター仮説」は、「価格が上昇すれば需要が減少する」といった、他の条件が一定であれば一般的に成立する「法則」のようなものではなく、確かに成立することは少ないかもしれない。しかし、多少生産性は低下するとしても、それが許容でき

る程度の低下で済む場合まで広げれば、成立するケースは増えると考えられる。「環境規制によって大きなマイナスの影響を与えないようなイノベーションが起こる」といったケースまで含めて、どのような条件下で成立するか、そのメカニズムを明らかにする必要がある。

そのためには、これまでに導入された環境規制(政策)がイノベーションを促進した事例に関する定性的な分析や、環境規制が企業利益あるいは生産性に与えた影響に関する定量分析をこれまで以上に行う必要がある。上述の1970年代の自動車排気ガス規制がイノベーションに与えた影響についても、今日においてさえ未だ議論が分かれている¹²⁾。このことから明らかなように、そのメカニズムの解明は簡単ではない。環境政策だけでなく、それ以外の政策やその他の企業固有の要因も、企業利益や生産性、イノベーションに対して影響を与え得る。そもそも環境規制自体、企業・事業所が立地する地域等によって、その強度は異なることが一般的である。従って、特に環境規制の影響を定量的に明らかにするには、環境規制以外の要因をコントロールしなければならず、そのためには得られる情報量が圧倒的に多い企業レベ

ルあるいは事業所レベルのデータ(個票データ)を用いた分析が求められる。個票データは、企業・事業所に対して研究者が質問票調査を送付することでも得られるが、公的なものでなければ高い回収率は期待できず、また調査にとって不可欠であるが企業の側が公表を望まない項目も多いと思われるので、国や地方自治体が様々な統計を作成するために実施する調査の個票が利用できれば、それが望ましい。その際には、異なる統計調査から得られた個票データの横断的な利用が必要になることもあるだろう。

しかし、日本では企業レベル・事業所レベルの個票データの利用は、環境政策の研究に限らず、必ずしも活発ではない。それは、様々な統計を作成するために公的機関が収集・作成した個票データの二次的利用(目的外利用)に対して厳しい制限が課されているからである¹³⁾。2009年に統計法が改正され、以前と比較すれば個票データの利用可能性は高まったが、少なくとも個人の研究者にとっては依然として制約が大きいと言わざるを得ない。何らかの秘匿義務を課したり、匿名化といった措置が必要であるとしても、より柔軟な利用が可能になることが求められる。

5 「適切にデザインされた規制」の導入を可能にするには

5-1

「適切にデザインされた 規制」の導入の困難さ

どの分類のポーター仮説も成立するには、環境規制が適切にデザインされることが前提である。しかし、これまでその条件に関して十分に検討されてきたとは言い難

い。「適切なデザイン」には、適切な政策手段の選択・設計と、適切な強度・水準の設定という2つの側面がある。さきに、世界各国で導入されてきた環境税が画期的なイノベーションを誘発することがほとんどなかったのは、高い水準に税率を設定することが極めて困難であるからと述べた。環境税の場合は費用負担が大きいので、高い税率を設定することは特に困難

であるが、厳しい水準=効果的な水準に設定することが困難であることは、多かれ少なかれ全ての環境規制(政策)に共通している。言うまでもなく、規制強度は厳しければよいというものではない。絶対に達成不可能な水準に設定しても最終的に達成可能な水準に落ち着かざるを得ないし、逆にほとんど努力せずに達成可能な水準であれば環境保全の実効性はなく、イ

ノベーションも期待できない。かなりの努力をしなければ達成できないが、達成不可能ではない水準を設定する必要がある。

政府が汚染の排出あるいはエネルギー効率に関する環境規制（排出基準あるいは効率基準）を導入・強化する場合、事前に関連する企業に対して、規制への対応の技術的可能性等に関してヒアリングを行うのが一般的である。そのヒアリングの場で、多くの企業が「技術的に不可能」と回答したら、政府がそのような規制を導入することは事実上極めて困難になる。しかし、「不可能」という回答としたからと言って、本当に技術的に不可能とは限らない。規制導入・強化によるコスト負担増を避けるために、そのように回答しただけだとしても、政府が企業の外部から技術的可能性を検証することは極めて困難である。すなわち、企業は「情報の非対称性」を利用して、規制水準決定に関する政府の対応を変え得る。

5-2

トップランナー方式の適用拡大

こうした現実を踏まえると、規制基準設定に際しては「トップランナー方式」の考え方を適用することが重要である。トップランナー方式とは、改正省エネルギー法（1998年）において取り入れられた、電気機器や自動車等の省エネ基準設定方式である。それまでは、平均的なエネルギー消費効率を若干上回る程度の目標値を設定していたが、トップランナー方式では、現段階で商品化されているものの中でエネルギー効率が最も優れた製品の値をベースにした上で、技術開発の見通しを考慮しながら基準設定するという方式

に変更された¹⁴⁾。その基準を満たさない製品については、製造業者に対して勧告等の措置が講じられる。目標とするエネルギー効率を「先頭を走っている」製品に合わせることによって全体の底上げを図ることから「トップランナー方式」と称されている。これは、技術開発の状況を政府が企業の外側から正確に把握することが困難であるという事情を踏まえた上で、情報の非対称性を利用した規制水準設定への影響力行使の可能性を低め、省エネ技術の開発を促進することを意図した制度と言える¹⁵⁾。もし、ある企業が技術開発を積極的に行わず、低いエネルギー効率水準しか達成できなかったとしても、他企業が高いエネルギー効率を達成可能であれば、その水準が基準として設定され、低い効率しか達成できない企業は大きな不利益を被ると予想される、逆に他の企業が達成できない水準を達成できる企業は競争上優位に立てるので、どの企業にも技術開発を積極的に行うインセンティブを与えると考えられるからである。トップランナー方式による基準設定は今のところ、製品に対する省エネ基準に対してしか設定されていないが、この考え方は生産プロセスを含めた汚染排出基準の設定に対しても適用可能である。

トップランナー方式の考え方を適用することは、「総論」としては受け入れられるとしても、実際に基準を設定する際には様々な問題が発生し得る。例えば、今後の技術改善率をどの程度見込むかによって、設定される基準は大きく変わってくる。またトップランナー方式においては、エネルギー効率が優れていたとしても「特殊品」は除外される。自動車燃費の基準設定の際には、ハイブリッドカーの燃費は「特殊品」として除外された。しかし、何を「特殊品」と考えるか、明確な基準があるわ

けではない。これらは全て、基準設定プロセスに係る問題である。理念としてトップランナー方式、あるいはそれに類する方式が採用されたとしても、基準設定プロセスの在り方次第では、理念とは程遠い規制水準が設定されてしまうかもしれない。

5-3

基準設定プロセス検証の強化

規制基準設定の際には、関連する審議会の下に部会あるいはワーキンググループが作られ、そこで行われる技術的な詳細な議論を経て決定される。実質的な議論の場には、関連する業界関係者と研究者が加わることが一般的である。これまで基準設定の具体的プロセスは、メディアを通じて断片的な情報が報道されることはあっても、その詳細に関する検討は十分に行われてこなかった。基準設定プロセスで、社会にとって望ましい水準が自動的に決定されるわけではない。このプロセスは利害関係者による一種の交渉の場であり、そもそも「社会にとって望ましい基準」が不明である中で、諸事情を考慮しながら手探りで基準を決定していかなければならない。そして手探りであるにもかかわらず、その水準はイノベーション等に大きな影響を与え得る。過去に行われてきた様々な規制基準設定プロセスの詳細な検討を通じて、どのような基準設定の考え方が望ましいのか、現実の決定プロセスにおいて、基準設定の理念は実現できているか、そして基準設定プロセスにおける業界関係者やアカデミアの役割を明らかにすることが改めて求められている。

6 提言—グリーン・イノベーションの促進のために

ポーター仮説の妥当性については未だ決着はついていないが、ポーターの問題提起、あるいはポーター仮説をめぐる行われてきた議論は、今日においても環境に関する課題がイノベーションに与える影響について重要な論点を提供している。

文部科学省では、「社会および公共のための政策」の実現に向け、研究開発システムの改革を推進することで、科学技術イノベーション政策の実効性を大幅に高めることを目的として、「政策のための科学」の推進が実施されている¹⁶⁾。これは課題対応等に向けた政策を立案する「客観的根拠に基づく政策形成」の実現に向け、人材育成やデータ情報基盤の整備等に加えて、新たに政策オプションの立案を実践するプログラムを意味している。また、戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）

として、自然科学に加え人文・社会科学の知見を活用し、広く社会の関与者の参画を得た研究開発により、社会の具体的問題を解決することと、安全・安心な都市・地域の創造のための実践型研究開発や研究開発成果の社会実装等を一層推進することが計画されている。つまり、本稿で取り上げたポーター仮説の考え方は、上記の研究開発テーマにまさしく適合し、経済を中心としたイノベーションのアプローチでは限界があることから、段階的な技術開発プロセス、つまりテクノロジーマネジメントが重要であることを意味する。

引き続き、定性的・定量的両面から、様々な政策がイノベーションに与える影響、あるいは環境規制がイノベーションを促進する場合の条件について研究を行う必要がある。しかしポーター仮説が成立するにしても、その前提となる

「適切にデザインされた規制」が導入される条件については、必ずしも十分に検討されてきたわけではなかった。これまでの規制水準決定プロセスに関する検証を行い、イノベーションを促進するような規制水準（不可能ではないが達成のためにはかなりの努力が必要な水準）を設定することができるとするプロセスのあり方を検討することが求められている。

本稿においては、環境政策の中でも規制的な政策とイノベーションの関係を中心に論じてきたが、補助金等の助成政策や政府が自ら行う研究開発もイノベーションに対して大きな影響を与える。特に2-2で述べたように、技術の普及という点では、助成政策は強力な手段となり得る。規制的な政策と助成政策をどのように組み合わせるかというポリシー・ミックスも、今後の重要な研究課題である。

参考文献

- 1) New Economic Foundation [2008], *A Green New Deal* : <http://www.neweconomics.org/publications/green-new-deal>
- 2) Center for American Progress [2008], *Green Recovery* : <http://www.americanprogress.org/issues/green/report/2008/09/09/4929/green-recovery/>
- 3) UNEP [2008], *Global Green New deal* : <http://www.unep.org/Documents.Multilingual/Default.asp?DocumentID=548&ArticleID=5955&l=en>
- 4) 寺島実郎・飯田哲也 [2009] 『グリーン・ニューディール』NHK 生活白書
- 5) Porter, M. [1991] "America's Green Strategy", *Scientific American*, Apr. 1991.
- 6) Porter, M and C. van der Linde, "Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship", *J. of Economic Perspective*, Vol.9, No.4, 1995.
- 7) Porter and van der Linde [1995].
- 8) Palmer, K., W. E. Oates and P. R. Portney [1995], "Tightening Environmental Standards : The Benefit-Cost or the No-cost Paradigm", *J. of Economic Perspective*, Vol.9, No.4, 1995.
- 9) Ambec, A., M. Cohen, S. Elgie and P. Lanoie [2011], "The Porter Hypothesis at 20 : Can Environmental Regulation Enhance Innovation and Competitiveness?", DP11-01, Resource for the Future.
- 10) Kemp, R., and S. Pontoglio [2011], "The Innovation Effects of Environmental Policy Instruments – A Typical Case of the Blind Men and the Elephant," *Ecological Economics*, Vol. 72, pp. 28-36.
- 11) OECD [2010], *Taxation, Innovation and the Environment*, OECD, Paris.

- 12) 朱顕・武石彰・米倉誠一郎 [2007] 「技術革新のタイミング：1970 年代における自動車排気浄化技術の事例」『組織科学』 Vol.40, No.3, 2007., 中村吉明 [2008] 「環境規制はイノベーションを促進するか：ポーター仮説の検証」『研究・技術計画学会 年次学術大会講演要旨集』 Vol.23, 2008.
- 13) 浜田宏一「デフレ下での政策決定：インサイダーの視点から」（岩田規久男他編『現代経済学の潮流 2004』東洋経済新報社）
- 14) 資源エネルギー庁 [2010] 『トップランナー基準 世界最高の省エネルギー機器の創出をめざして』
- 15) 伊藤康 [1999] 「トップランナー方式の意義と問題点」『環境と公害』 Vol.29, No1, 1999.
- 16) 文部科学省 [2013] 「平成 25 年度予算（案）主要事項」

執筆者プロフィール



伊藤 康

科学技術動向研究センター 客員研究官

<http://www.cuc.ac.jp/index.html>

専門は環境経済学・地域経済学。高度成長期の日本の公害対策・環境政策の掘り起こしが研究の出発点。環境・エネルギー政策が技術開発・普及に与える影響を中心に研究を行ってきた。最近では、震災復旧・復興に関する研究にも力を入れている。



浦島 邦子

科学技術動向研究センター グリーンイノベーションユニット

<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

工学博士。日本の電機メーカー、カナダ、アメリカ、フランスの大学、国立研究所、企業にてプラズマ技術を用いた環境汚染物質の処理ならびに除去技術の開発に従事後、2003 年より現職。世界の環境とエネルギー全般に関する科学技術動向について主に調査中。

2012年の世界の衛星打上げ動向

辻野 照久
客員研究官

1 はじめに

国際宇宙ステーション（ISS）には毎年日本人宇宙飛行士が約半年間搭乗し、船内での実験や船外活動などで活躍している。2012年は有人宇宙飛行の分野で12機の有人宇宙船や物資補給船が打ち上げられた。一方、宇宙応用の分野では、世界各国で広く普及している衛星放送・天気予報・カーナビなどのサービスを提供するために欠かせない通信放送衛星・地球観測衛星・航行測位衛星が既に社会インフラとして定着しており、2012年には20か国4機関から61機打ち上げられた。2012年

の有人宇宙飛行および宇宙応用を目的とする衛星の一覧を文末の別表に示す。この表には記載していないが、この他に米国航空宇宙局（NASA）の科学衛星や宇宙開発新規参加国の技術試験衛星など58機も打ち上げられている。

2012年は2011年までと比べて各国の宇宙開発動向に顕著な変化が生じている。2011年にNASAのスペースシャトルが退役したことにより米国の有人宇宙輸送能力が空白期間に入ったこと¹⁾、米国民間企業が開発した宇宙船が国際宇宙ステーション（ISS）とのドッ

キングに成功したこと²⁾、中国の有人宇宙船が軌道上の衛星とのドッキングに成功し米口の有人宇宙技術に追いついたこと³⁾、中国のロケット打上げ回数が米国を大幅に上回ったこと⁴⁾、欧州の打上げロケットが大型・中型・小型の3機種を使い分ける体制になったこと、東欧諸国などで新たな衛星保有国が増加したことなどがあげられる。

本稿では2012年に打ち上げられた有人宇宙飛行や宇宙応用に供される実用衛星の状況についてまとめた。

2 実用衛星保有国の動向

2012年は27か国4機関の計131機の衛星が打ち上げられ、そのうち73機は有人宇宙飛行および宇宙応用を目的とする実用衛星であった。図表1に2012年に打ち上げられた衛星の国別・ミッション別内訳を示す。

(1) 米国

米国は将来の宇宙探査用の多目的有人宇宙船「オリオン」や重量

級打上げロケット「SLS（Space Launch System）」を開発中であるが、予算節減などの制約もあり、運用開始までにはまだ数年を要する。NASAは2011年にスペースシャトルを退役させたため、ISSへの米国人宇宙飛行士の輸送をロシアに頼っている。NASAは、当面のISSへの輸送能力の空白を補うため、「商業軌道輸送サービス（COTS=Commercial

Orbital Transportation Services）」を民間企業2社と契約している。そのうち、スペースX社は2012年10月に回収型宇宙船「Dragon CRS-1」の打上げ、ISSへのドッキングおよび帰還カプセルの回収に成功した。

通信放送衛星5機のうち2機は商業通信放送衛星で、ロシアと欧州から打ち上げられた。他の3機は米空軍などの通信衛星

で、米国から打ち上げられた。航行測位衛星は米空軍が中高度（約 20,000 km）軌道に GPS 衛星を 1 機打ち上げた。

(2) 中国

4 回目となる有人宇宙船「神舟 9 号」で初めて軌道上の「天宮 1 号」（2011 年打上げ）へのドッキングに成功し、米国の有人宇宙技術に追いついた。中国初の女性宇宙飛行士も搭乗した。

その他、静止通信衛星 4 機⁵⁾、地球観測衛星 8 機⁶⁾、静止気象衛星 1 機⁶⁾、航行測位衛星 6 機⁷⁾（静止衛星 2 機を含む）などさまざまな実用衛星を打ち上げた。特に航行測位衛星は、静止衛星 5 機と準天頂衛星 5 機からなる中国を中心としたアジア太平洋地域の航行測位衛星システムが完成し、米国やロシアの航行測位衛星の信号も同時に受信できる複合型測位信号受信装置を利用した測位システムのサービスを開始した。

(3) ロシア

ロシアは ISS への搭乗員および物資輸送で着実に成功を重ねており、2012 年も有人宇宙船「Soyuz」と物資補給船「Progress」各 4 回で計 8 機が打ち上げられ、ISS の円滑な運用を維持することに貢献した。7 月 17 日に打ち上げられた有人宇宙船「Soyuz TMA-05M」には我が国から（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）の星出彰彦宇宙飛行士が搭乗し、ISS での任務を終えて 11 月 19 日に無事帰還した。

ロシア通信企業の商業通信衛星は 3 機打ち上げられたが、そのうち 1 機はロケットの軌道投入失敗により静止衛星とはならなかった。また別の 1 機はロケットの軌道投入失敗後、衛星自身の推進力で所定の静止軌道に到達したもの

の、燃料を消費したため運用可能期間が短くなる可能性がある。

地球観測衛星は火山観測を行う「Kanus-V 1」の軌道投入に成功した。

(4) 日本

日本は 5 月に米国と共同の第一期水循環変動観測衛星「GCOM-W1（しずく）」、7 月に宇宙ステーション補給機「HTV-3（このとり 3 号）」を打ち上げた。この他、スカパー JSAT(株)は欧州のロケットにより商業通信衛星「JCSAT-13」を打ち上げ、JAXA や大学等の小型衛星 5 機と合わせて計 9 機が新たな保有衛星となった。

(5) 欧州宇宙機関（ESA）

欧州の宇宙開発の中心となっている欧州宇宙機関（ESA）は国際宇宙ステーションへの自動輸送機「ATV-3」と航行測位衛星シ

ステム「ガリレオ（Galileo）」の軌道上実証機（IOV）2 機を軌道に投入した。「IOV」は 2011 年打上げの 2 機と合わせて 4 機になり、地上での実証試験に供する体制が整った。

(6) インド

インド宇宙研究機関（ISRO）は C バンド合成開口レーダを搭載した地球観測衛星「RISAT-1」を自国のロケットにより打ち上げた。また、官営事業として一般に利用される通信放送衛星「GSAT-10」を欧州から打ち上げた。

(7) その他の国等（15 か国 3 機関）

欧州、アジア、南北アメリカなどにおいて 2012 年に新たな通信放送衛星および地球観測衛星を保有することとなった国および機関を図表 2 に示す。実用衛星以外の技術試験衛星も数機が軌道に投入された。

図表 1 2012 年の保有国別・目的別の衛星打上げ数

衛星保有国別	有人宇宙飛行 ¹⁾	宇宙応用を目的とする衛星			その他	計
		通信放送	地球観測	航行測位		
米 国	1	5(5)		1	23(1)	30(6)
中 国	1	4(4)	9(1)	6(2)	6	26(7)
ロシア	8	3(3)	1		9(1)	21(4)
日 本	1	1(1)	1		6	9(1)
欧州宇宙機関	1			2		3
インド		1(1)	1			2(1)
その他の国等		18(18)	8(1)		14	40(19)
計	12	32(32)	20(2)	9(2)	58(2)	131(38)

（ ）内は静止衛星数内訳

注1) 有人飛行には物資補給船を含む。

出典：各種資料を基に科学技術動向研究センターにて作成

図表 2 欧州およびその他の国等の内訳 （ ）内は 2 機以上の場合の機数

地域	通信放送衛星 (18)	地球観測衛星(8)
欧州	イギリス(2)、ルクセンブルク、スウェーデン、オランダ、ユーテルサット(2)	フランス(2)、欧州気象衛星機構（ユーメトサット）(2)
アジア	アラブ首長国連邦、インドネシア、ベトナム	大韓民国、トルコ
南北アメリカ	カナダ、ブラジル、メキシコ	ベネズエラ
その他	インテルサット(5)	ベラルーシ

出典：各種資料を基に科学技術動向研究センターにて作成

3 ロケット打上げの動向

2012年の1年間における主要国の打上げ回数は、ロシアが27回（シーロンチ社の打上げを含む）、中国が19回、米国が13回、欧州が10回、日本とインドが各2回であった。中国のロケット打上げ回数が米国を上回り、宇宙活動の主要国が「米ロ二大国」といわれた時代から「米ロ中三大国」の時代に移行しつつあるといえる。

2012年は「打上げ失敗」は1回もなかったが、ロシアはロケットの不具合により計画通りの軌道に投入できない「軌道投入失敗」が相次いだ。衛星が所定軌道に投入されなかった場合でも、衛星自身のエンジンで所定の静止軌道に到達したものもあった。ロシアは近年の相次ぐロケット打上げ失敗や軌道投入失敗により宇宙技術に対する信頼度が大きく低下し、企業再編成や人材育成などの取組みを開始しているところである。

欧州は南米ギアナ射場から初め

て小型のヴェガロケットの打上げに成功し、主力のアリアン5型ロケット、ロシア製のソユーズロケットとともに大型・中型・小型

の3種類のロケットを運用するようになった。

各国の機種別ロケット打上げ回数を図表3に示す。

図表3 2012年の主要国のロケット打上げ回数

ロケット 打上げ実施国	ロケット種類別打上げ回数			打上げ数 合計
ロシア	プロトン	ソユーズ	ゼニット他	27(8)
	11	12(8)	4	
中 国	長征2	長征3	長征4	19(1)
	6(1)	9	4	
米 国	アトラス5	デルタ4	ファルコン他	13(1)
	6	4	3(1)	
欧 州	アリアン5	ソユーズ	ヴェガ	10(1)
	7(1)	2	1	
日 本	H-IIA	H-IIB		2(1)
	1	1(1)		
インド	PSLV			2
	2			

()内は有人宇宙船および物資補給船の打上げ回数の内訳

出典：各種資料を基に科学技術動向研究センターにて作成

4 重量区分による衛星数の分布

2012年に打ち上げられた衛星の重量区分別の分布は、大型衛星（3,000 kg 以上）53機、中型衛星（500 kg～3,000 kg）25機、小型衛星（500 kg 未満）53機であった。打上げ時の重量が最大であった衛星はESAの「ATV-3」の20,750 kg（うち輸送物資7,300 kg）である。日本の「HTV-3（このとり3号）」は16,500 kgでこれに次ぐ大重量の衛星である。国別の衛星打上げ数を重量区分で集計した結果を図表4に示す。

図表4 重量区分による各国の衛星数

国	重量 区分	大型衛星 (3,000 kg 以上)	中型衛星 (500 kg～ 3,000 kg)	小型衛星 (500 kg 未満)	計
米 国		13	3	14	30
中 国		11	4	11	26
ロシア		10	5	6	21
日 本		2	1	6	9
欧州宇宙機関		1	2	0	3
インド		1	1	0	2
その他の国等		15	9	16	40
計		53	25	53	131

出典：各種資料を基に科学技術動向研究センターにて作成

5 今後の展望

米国では2013年3月にスペースX社がドラゴン宇宙船の打上げおよびISSへのドッキングに成功した。NASAとのCOTS契約としては2回目となる。今後2016年までにさらに10回の物資輸送を行う計画である。もう一つのCOTSの契約先としてオービタルサイエンシズ社(OSC)が2013年にアンタレス(旧称トーラス2型)ロケットによりISSにドッキングするシグナス宇宙船を初めて打ち上げる予定である。

スペースX社は今後主力のファルコン9ロケットの大量生産を計画しており、ISSへの輸送サービスだけでなく、世界各国の

静止衛星の打上げも受注することで、欧州やロシアの商業打上げのシェアを奪っていく可能性がある。

中国は2011年から2015年までの5年間で100機の衛星を打ち上げる計画で、有人宇宙船・中高度周回型航行測位衛星・各種の地球観測衛星などで一段の飛躍が見込まれる。2013年には有人宇宙船「神舟10号」と月面着陸機「嫦娥3号」の打上げを計画している。2014年運用開始を目指して海南島に新たな射場を建設中であり、米国のデルタ4(重量級)に次いで世界第2位の打上げ能力となる大型ロケット「長征5型」や有人宇宙船打上げ用の「長征7型」を

開発中である。

インドは静止衛星打上げ用ロケット「GSLV」の開発が難航しており、宇宙ミッションの進展が遅れているが、2012-2017年の5年間で58ミッション(ロケット打上げ25回、衛星30機、太陽系探査機3機)を実施する計画を発表した。

2013年に入って、アゼルバイジャンが初の静止通信衛星「Azerspace」を保有することになった。さらにボリビア・トルクメニスタン・ラオス・アンゴラ・スリランカなどが独自の静止通信衛星の保有を計画しており、新たな宇宙開発国になると見込まれる。

参考文献

- 1) 科学技術動向 2005年6月号レポート「各国の宇宙輸送システム開発動向 ―スペースシャトル退役がもたらす変化―」
- 2) 科学技術動向 2011年6月号トピックス「アポロ計画以来の重量級ロケットを民間企業が開発」
- 3) 科学技術振興機構「中国の宇宙開発事情(その2) 有人宇宙飛行」:
http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/1301/r1301_tsujino1.html
- 4) 科学技術振興機構「中国の宇宙開発事情(その1) 宇宙輸送」:
http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/1212/r1212_tsujino1.html
- 5) 科学技術振興機構「中国の宇宙開発事情(その4) 衛星通信」:
http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/1302/r1302_tsujino1.html
- 6) 科学技術振興機構「中国の宇宙開発事情(その5) 地球観測」:
http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/1302/r1302_tsujino2.html
- 7) 科学技術振興機構「中国の宇宙開発事情(その6) 航行測位」:
http://www.spc.jst.go.jp/hottopics/1302/r1302_tsujino3.html

執筆者プロフィール



辻野 照久

科学技術動向研究センター 客員研究官
<http://www.nistep.go.jp/index-j.html>

専門は電気工学。旧国鉄で新幹線の運転管理、旧宇宙開発事業団で世界の宇宙開発動向調査などに従事。現在は宇宙航空研究開発機構国際部特任担当役、科学技術振興機構研究開発戦略センター特任フェローも兼ねる。中国語の科学技術文献読解を得意とする。

別表 2012年の主要国の実用衛星打上げ状況

1) 有人宇宙飛行関連のミッション

国際標識番号	月	日	衛星名	軌道*	保有国	ミッション	打上げロケット
2012-004A	1	25	Progress M-14M	4/28 消失	ロシア	物資補給船	ソユーズ U
2012-015A	4	20	Progress M-15M	8/20 消失	ロシア	物資補給船	ソユーズ U
2012-010A	3	23	ATV 3	10/3 消失	欧州宇宙機関	物資補給船	アリアン 5 ES
2012-022A	5	15	Soyuz TMA 04M	9/17 帰還	ロシア	有人宇宙船	ソユーズ FG
2012-032A	6	16	神舟 9	6/29 帰還	中国	有人宇宙船	長征 2F
2012-037A	7	15	Soyuz TMA 05M	11/19 帰還	ロシア	有人宇宙船	ソユーズ FG
2012-038A	7	21	HTV-3	9/14 消失	日本	物資補給船	H-II B
2012-042A	8	1	Progress M-16M	2013/2/9 消失	ロシア	物資補給船	ソユーズ U
2012-054A	10	8	Dragon CRS-1	10/28 回収	米国	物資補給船	ファルコン 9
2012-058A	10	23	Soyuz TMA 06M	ISS	ロシア	有人宇宙船	ソユーズ-FG
2012-060A	10	31	Progress M-17M	ISS	ロシア	物資補給船	ソユーズ U
2012-074A	12	19	Soyuz TMA 07M	ISS	ロシア	有人宇宙船	ソユーズ FG

*注：軌道は2013年2月現在の状況を示す。

消失 = ISS から分離後大気圏再突入で消失、帰還 = ISS から分離後搭乗員が地球に帰還、回収 = ISS から分離後物資を搭載したカプセルを回収、ISS = ISS に接続中（軌道高度約 400 km、軌道傾斜角 51.6 度）。

出典：各種資料に基づき科学技術動向研究センターにて作成

2) 通信放送関連のミッション

国際標識番号	月	日	衛星名	軌道	保有国	ミッション	打上げロケット
2012-003A	1	20	WGS- 4	静止	米国	通信	デルタ 4M(5, 4)
2012-007A	2	14	SES-4	静止	オランダ	商業通信放送	プロトン M/ブリーズ M
2012-009A	2	24	MUOS 1	静止	米国	通信	アトラス 5
2012-011A	3	25	Intelsat-22	静止	インテルサット	商業通信放送	プロトン M/ブリーズ M
2012-013A	3	31	Apstar-7	静止	中国	商業通信放送	長征 3B
2012-016A	4	23	YahSat 1B	静止	アラブ首長国連邦	商業通信放送	プロトン M/ブリーズ M
2012-019A	5	4	AEHF 2	静止	米国	通信	アトラス 5
2012-023A 同 B	5	15	JCSAT-13 Vinasat-2	静止 静止	日本 ベトナム	商業通信放送	アリアン 5 ECA
2012-026A	5	17	Nimiq 6	静止	カナダ	商業通信放送	プロトン M/ブリーズ M
2012-028A	5	26	中星 2A	静止	中国	通信	長征 3B/E
2012-030A	6	1	Intelsat-19	静止	インテルサット	商業通信放送	ゼニット 3SL
2012-035A	7	5	Echostar 17	静止	米国	商業通信放送	アリアン 5 ECA
2012-036A	7	9	SES-5	静止	スウェーデン	商業通信放送	プロトン M/ブリーズ M
2012-040A	7	25	天鏈 1C	静止	中国	データ中継	長征 3C
2012-043A 同 B	8	2	Intelsat-20 HYLAS-2	静止 静止	インテルサット イギリス	商業通信放送	アリアン 5 ECA
2012-044A	8	6	Telkom 3	静止	インドネシア	商業通信放送	プロトン M/ブリーズ M
2012-045A	8	19	Intelsat-21	静止	インテルサット	商業通信放送	ゼニット 3SL
2012-051A 同 B	9	28	Astra 2F GSAT-10	静止 静止	ルクセンブルク インド	商業通信放送	アリアン 5 ECA
2012-057A	10	14	Intelsat-23	静止	インテルサット	商業通信放送	プロトン M/ブリーズ M

2012-061A 同 B	11	2	Yamal-300K Luch-5B	静止 静止	ロシア	商業通信放送 データ中継	プロトンM/ブリーズM
2012-062A 同 B	11	9	Eutelsat 21B Star One C3	静止 静止	ユーテルサット ブラジル	商業通信放送	アリアン 5 ECA
2012-065A	11	20	Echostar 16	静止	米国	商業通信放送	プロトンM/ブリーズM
2012-067A	11	27	中星 12	静止	中国	商業通信放送	長征 3B/E
2012-069A	12	3	Eutelsat 70B	静止	ユーテルサット	商業通信放送	ゼニット 3SL
2012-070A	12	8	Yamal-402	静止	ロシア	商業通信放送	プロトンM/ブリーズM
2012-075A 同 B	12	19	Skynet-5D MEXSAT-3	静止 静止	イギリス メキシコ	通信 商業通信放送	アリアン 5 ECA

出典：各種資料に基づき科学技術動向研究センターにて作成

3) 地球観測関連のミッション

国際標識番号	月	日	衛星名	軌道*	保有国	ミッション	打上げロケット
2012-001A	1	9	資源 3A	極	中国	地球観測	長征 4D
2012-002A	1	13	風雲 2F	静止	中国	気象観測	長征 3A
2012-017A	4	26	RISAT-1	極	インド	地球観測	PSLV
2012-020A	5	6	天絵 1B	極	中国	測量	長征 2D
2012-021A	5	10	遥感-14	極	中国	地球観測	長征 4B
2012-025A 同 B	5	17	GCOM-W1 KOMPSAT-3	極 極	日本／米国共同 韓国	地球観測	H-II A
2012-029A	5	29	遥感-15	極	中国	地球観測	長征 4C
2012-035B	7	5	MSG-3	静止	ユーメトサット	気象観測	アリアン 5 ECA
2012-039A 同 B	7	22	Kanopus V1 Belka-2	極 極	ロシア ベラルーシ	地球観測	ソユーズ FG
2012-047A	9	9	SPOT-6	極	フランス	商業地球観測	PSLV
2012-049A	9	17	MetOp B	極	ユーメトサット	気象観測	ソユーズ 2-1a Fregat
2012-052A	9	30	Francisco Miranda	極	ベネズエラ	地球観測	長征 2D
2012-064A	11	18	環境 1C	極	中国	地球観測	長征 2C
2012-066A-C	11	25	遥感 16A, 16B, 16C	1100km 63.4°	中国	地球観測	長征 4C
2012-068A	12	2	Pleiades HR2	極	フランス	地球観測	ソユーズ ST
2012-073A	12	18	Gokturk-2	極	トルコ	地球観測	長征 2C

*注：軌道は 2013 年 2 月現在の状況を示す。

静止＝静止軌道（GSO）、極＝太陽同期極軌道（SSO）。LEO 衛星は高度（km）と軌道傾斜角（°）で示す。

出典：各種資料に基づき科学技術動向研究センターにて作成

4) 航行測位・測地関連のミッション

国際標識番号	月	日	衛星名	軌道*	保有国	ミッション	打上げロケット
2012-008A	2	24	北斗 2 G5	静止	中国	航行測位	長征 3C
2012-018A-B	4	29	北斗 2 M3, 同 M4	中高度	中国	航行測位	長征 3B
2012-050A-B	9	18	北斗 2 M2, 同 M5	中高度	中国	航行測位	長征 3B
2012-053A	10	4	GPS 2F 3	中高度	米国	航行測位	デルタ 4M+(4, 2)
2012-055A-B	10	12	IOV 1.3, 1.4	中高度	欧州宇宙機関	航行測位	ソユーズ ST
2012-059A	10	25	北斗 2 G6	静止	中国	航行測位	長征 3C

*注：軌道は 2013 年 2 月現在の状況を示す。

静止＝静止軌道（GSO）、中高度＝中高度周回軌道（MEO）

出典：各種資料に基づき科学技術動向研究センターにて作成

科学的合理性のあるスポーツ教育に向けて

—TQC(トータルクオリティコントロール)の導入事例—

橋本 新平
客員研究官

重茂 浩美
ライフイノベーションユニット

1 はじめに

近年、スポーツ教育における非合理的な指導が問題視されている。学生と指導者双方にとって不利益な事態を招いた原因の1つに、従来のスポーツ教育は指導者の経験則によるところが大きかったことが挙げられている。我が国のスポーツ教育において、豊富な経験とスキルをもつ指導者の貢献度は高く、これまで国内外の各種大会で好成績をおさめる選手を多数輩出してきたことがそれを物語っている。しかしながら、従来のスポーツ教育は指導者の裁量に委ねられるところが大きく、客観性や合理性は必ずしも担保されていないとの指摘がある。この点は、今後のスポーツ教育を考える上で克服すべき課題と考えられる。

本稿では、スポーツ教育が抱える課題の解決策を考える上での参考例として、1930年に設立された「航空研究会」を祖とする慶應義塾体育会航空部¹⁾での取組みを紹介する。当部では、我が国の民間企業で広く取り入れられている

TQC(トータルクオリティコントロール)を採用している。TQCは「企業・組織における経営の“質”向上に貢献する管理技術、経営手法」と定義づけられており²⁾、企業・組織におけるすべての人が、すべての部門で、すべての段階で品質管理に関与することが特徴である。TQCの作業フローはPlan(計画)—Do(実行)—Check(評価)—Act(改善)というPDCAサイクルから成り、このサイクルは工業製品の製造からサービス業、医療や学校教育など様々な現場で積極的に導入が進められている。高等教育においては、中央教育審議会が2008年に答申した「学士課程教育の構築に向けて」の中で、大学の自己点検・評価におけるPDCAサイクルの強化が唱えられている³⁾。文部科学省が2012年6月に打ち出した「大学改革実行プラン」においても、2つの大きな柱、すなわち「激しく変化する社会における大学の機能の再構築」と「大学のガバナンスの充実・

強化」の実現に向けてPDCAサイクルを展開することが明記されている⁴⁾。

慶應義塾体育会航空部の事例では、TQCがグライダースポーツの教育に有効なことが示されている。それは、当部が数々の競技会で個人・団体の全国優勝を成し遂げていることと¹⁾、深刻な事故が皆無であることからうかがえる。

グライダースポーツは特殊なスポーツと捉えられがちだが、日々の訓練や練習によって身体を鍛錬し、判断力を磨き、技能を競うというスポーツの本質を鑑みると、その他の一般的なスポーツと何ら変わりはない。ゆえに、本稿で紹介するグライダースポーツ教育でのTQCは、スポーツ教育全般においても科学的合理性のある手法として適用が可能だと考えられる。以下では、慶應義塾体育会航空部の事例を交えながら、スポーツ教育におけるTQCの有効性について述べる。

2 学生グライダースポーツの特徴と要件

学生グライダースポーツは、全国 60 余校の大学、高校が加盟する公益財団法人日本学生航空連盟で組織されている。各加盟校は、東北、関東、関西東海、西部（九州）の各地域で運営される滑空場において、日々の飛行訓練を行っている。航空に関しては全くの初心者である大学 1 年生の部員に、グライダー操縦の基礎とそれに関する必要な知識を教えると共に、複座機を使用して教官が同乗しマンツーマンの飛行訓練を行う。多くの場合、航空部の卒業生（OB）が飛行訓練を指導している。その後、単独飛行（ソロフライト）、滞空飛行（ソアリング）、野外飛行（クロスカントリーフライト）など、徐々に飛行のレベルを上げるべく、学生部員は訓練と練習を重ねる。多くの場合、学生部員が大学 3～4 年生になると、全日本学生選手権や学校間の対抗戦などに母校の榮譽を担って出場する。

グライダースポーツでは、以下①～⑨の事項全てが満たされるよ

う要求される。それらの事項は、①の全体計画作成から、②～⑦における専門的技術の習熟と基盤整備、⑧と⑨における組織内の人・設備・業務の管理まで、多岐に渡っている。しかしながら、グライダーという専門性や規模の大小はあるにせよ、これらの事項は一般の企業経営と共通する。

- ①部全体の訓練計画の作成
- ②機体、機材の整備
- ③車両動力の整備：曳航用ウインチ、曳航索リトリブ用車両、グライダー運搬用トレーラー、牽引兼機材運搬車等の整備
- ④無線の整備：VHF（超短波、周波数 30～300 MHz の電波）、およびグライダー専用の HF 無線の整備、日本の空を飛行するあらゆる航空機および管制機関との交信
- ⑤気象の把握：日々の天気図と気象情報の取得、およびそれに基づく訓練計画の作成
- ⑥機材の整備：飛行計器、GPS、

記録用写真機、訓練に必要な諸機材の整備

- ⑦航空法、電波法への対応：各種の許可証・証明の取得（縦練習許可証、自家用操縦士技能証明、航空機操縦教育証明、耐空検査証明、航空無線通信士、航空特殊無線通信士、無線局登録等）、機体定時点検、無線機定時点検、空域調整、地方航空局への日々フライトプランや訓練計画書の提出等
- ⑧日常生活管理：宿舍の 4S（整理・整頓・清掃・清潔、学生健康管理や休養の設定
- ⑨経理業務・総務：月次決算、各種費用や保険の付与確認（訓練費、生活費、部員航空保険、傷害保険）、部全体・個人別の日々の飛行訓練記録の整理と航空日誌への記入、母校体育会・OB・関係団体への事務連絡や報告、滑空スポーツ記章の登録申請等

3 慶應義塾体育会航空部での取り組み

2. で示したように、グライダースポーツの成立要件は多岐に渡っているため、その教育指導においては課題を抱えていることが多々ある。それは、創部 80 年を超える伝統と歴史があり、平成世代だけでも約 100 名の卒業生を輩出してきた慶應義塾体育会航空部でも例外ではなかった。

当部に TQC が導入されたのは、1988 年以降である。当時の監督だった吉田正克氏（2013 年現在、総監督）が、それまでのグライダースポーツ教育を改善す

るためには、長年の海外ビジネス業務において体得した TQC が有効だと考えて導入した。吉田氏が TQC を導入した当初は、学生部員の戸惑いが大きく、円滑な運用にはほど遠かった。その後、吉田氏は TQC の作業フローである PDCA サイクルの実施について試行錯誤を重ね、数年かけて日常的に TQC を運用できる体制を整えた。「TQC を浸透させた」と言えるようになったのは、TQC の導入から 2 度目の学部卒業生を送り出した後、すなわち 8 年ほど後

のことである。

TQC の導入から 25 年経った 2013 年現在、当部の学生部員は大学生 27 人と高校生 4 人である。これら部員、監督と OB の教官コーチの全員が参加する TQC 活動として、当部全体の活動に対する運営管理のための PDCA サイクルが廻っていると共に、個々の学生部員の活動に対する運営管理のために個人単位での PDCA サイクルが廻り、当部における活動全般が運営管理されている。以下では、慶應義塾体育会航空部での

各PDCAサイクルを概説すると共に、TQCの効果と今後の課題について述べる。

3-1

部全体のPDCAサイクル

部全体のPDCAサイクルは、年間の大目標の設定を起点とする(Plan、計画)。3つの大目標、すなわち①5冠達成(全日本グライダー選手権大会、早慶戦、全国新人戦、六大学対抗戦、関東学生選手権の制覇)、②部の健全な財務運営、③安全第一のオペレーション、の達成に向けて日々活動する(Do、実行)。それらの活動は、“ヘッド会”において報告される。一般企業の役員会に相当する“ヘッド会”は、監督、OBの教官コーチと上級生部員によって構成され、学生部員が作成した各種の報告管理資料に基づいて以下の作業が行われている。

- ・当月の実績報告、反省点の抽出(Check、評価)と改善策の立案(Act、改善)。これらの作業は、前月に作成した運営計画に沿って実施。
- ・翌月の運営計画作成。

図表1に、ヘッド会の1例を挙げる。種々の報告がなされているが、特筆すべき点は、合宿訓練の計画や報告、全国大会の出場計画はもとより、財務報告に至るまで学生部員自らが資料を作成していることである。これらの作業は、学生部員に自主性・自立性や判断力・企画力を身に付けさせると共に、基本的な経営管理手法を学ばせることを狙いとする。また、ヘッド会に上級生部員を参加させることにより、部員にリーダーシップを学ばせている。

図表1 2013年1月30日 ヘッド会議事次第

議題	時刻
1. 財務報告	18:30～19:30
2. 1月前半合宿訓練報告	19:30～19:45
3. 全国大会出場計画	19:45～20:00
4. 2月合宿訓練計画案	20:00～20:15
5. 2月上級生合宿訓練計画案	20:15～20:30
6. 教育証明実地試験計画案	20:30～20:45
7. 新ウインチプロジェクト 進行状況	20:45～21:00
8. 安全対策シート	21:00～21:15

提供：吉田正克氏

3-2

学生部員個人のPDCAサイクル

一方、実際の飛行訓練においては、訓練全般を統括する飛行指揮所(ピスト)を軸として、学生部員個人単位でのPDCAサイクルが廻っている。ピストはグライダーの発航管理や離着陸の管制指示を行う責任者以下4名で構成されており、このチームワークが効率的・効果的な飛行訓練を行うためのキーになっている。学生部員は、2. ①で示した部全体の訓練計画における自分自身の、飛行計画(Plan、計画)、飛行記録(Do、実行)、飛行後の反省点(Check、評価)をピストに報告し、ピストから改善のための指導を受け、次回につなげている(Act、改善)(図表2)。学生部員は、自らPDCAのサイクルを廻すことによって自主性や自立性を身に付けることが可能であり、また、グライダーパイロットとしての技能向上の経過を自身で確認できる。加えて、ピストでのチームワークが、学生部員のコミュニケーション力やコーディネーション力の涵養に役立っている。

3-3

TQCの効果

3-1、3-2で示したTQC活動によって、慶應義塾体育会航空部では部全体および学生部員個人のレベルで活動が改善され、競技会で良好な成績を収められるようになった。加えて、学生部員の自主性や自立性、判断力や企画力、コミュニケーション力やコーディネーション力などが総合的に向上した。以下にTQC導入後の具体的変化を列記するが、大学4年生の部員が早期に就職内定を獲得できるようになったことを鑑みても、当部での活動を通じて学生部員が高い資質能力を身に付けたと言えよう。

TQCを導入した後の変化
一部全体—

- ・全日本学生グライダー競技選手

図表2 訓練風景



提供：吉田正克氏

権大会8連覇など、2013年3月時点まで通算16回の優勝を果たす事ができた。

- ・定常的組織的な安全教育によって重大事故を絶滅することができた。
- ・慢性的な赤字経営が解消され、対外債務0での運営を行っている。

学生部員の帰属意識が向上し、卒業後もOBとしての貢献意欲が高まったためと考えられる。

- ・学生部員の就職内定時期が早まった（大学4年生の春には、概ね全員が内定）。

3-4

TQCを導入した後の変化

—学生部員個人—

- ・各学生部員の操縦技術の向上により、各学年において約半年早期に、各段階の”日本滑空スポーツ記章”取得が可能になった。
- ・OB会費の支払い率が60%から90%以上に向上した。これは、慶應義塾体育会航空部に対する

TQCに関する今後の課題

総じて、慶應義塾体育会航空部が導入したTQCはグライダースポーツ教育において有効であると考えられる。しかしながら、部全体や学生部員個人に対してTQCを完全に浸透させるという観点、およびグライダースポーツ全般で

TQCを広めるという観点において、現行のTQCの手法には改善の余地がある。以下は吉田氏が考える今後の課題である。

- ・学生部全体に対する課題：OB会を巻き込むことにより、部全体のTQCを強化。
- ・部員個人に対する課題：訓練効率をより上げるための、個人別訓練マニュアル作成。学生部員個人でPDCAサイクルを円滑に廻せるよう意欲を向上させることが狙い。
- ・グライダースポーツ全体に対する課題：公益財団法人日本学生航空連盟の事業や全国加盟主要校へのTQC導入の働きかけ。

4 スポーツ教育全般における TQC の可能性

1. で述べたように、グライダースポーツと一般的なスポーツとで本質的な違いはないことから、慶應義塾体育会航空部が取り入れているTQCはスポーツ教育全般へ適用することが可能だと考えられる。これからのスポーツ教育は、従来のように指導者の経験やスキルに偏重しすぎることなく、科学的合理性がある教育指導法を導入すべきであり、TQCはその有効な手法として検討に値する。

日本政府の教育再生実行会議では、2013年2月26日に公表した

第一次提言の中で「体罰禁止の徹底と、子どもの意欲を引き出し、成長を促す部活動指導ガイドラインの策定」を唱えており⁵⁾、この提言を受けて、文部科学省では部活動指導のガイドラインを策定するための検討を2013年3月に開始した⁶⁾。慶應義塾体育会航空部の例で見られるように、今後の課題はあるものの、TQCによる教育指導は学生のスポーツの技能を向上させるだけではなく、自主性や自立性、判断力や企画力、コミュニケーション力やコーディネー

ション力といった、言わば社会人として必要な能力を育むことにも大きく貢献している。今後、スポーツ教育におけるTQCの有効性・有用性について、新たな検討の場が設けられることを期待する。

本稿の執筆にあたり、長年に亘り慶應義塾体育会航空部を指導されている吉田正克総監督から多くの情報をいただいたと共に、全般的にご指導いただいた。この場を借りて深謝する。

参考文献

- 1) 慶應義塾体育会航空部：<http://keio-soaring.org/>
- 2) 一般財団法人日本科学技術連盟、TQM・品質管理：<http://www.juse.or.jp/tqm/278/>
- 3) 中央教育審議会、学士課程教育の構築に向けて（答申）、2008年12月24日：
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2008/12/26/1217067_001.pdf
- 4) 文部科学省、「大学改革実行プラン」について、2012年6月5日：
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/24/06/1321798.htm

- 5) 教育再生実行会議、いじめの問題等への対応について（第一次提言）、2013年2月26日：
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouikusaisei/pdf/dail_1.pdf
- 6) 文部科学省、下村博文文部科学大臣記者会見録（2013年3月8日）：
http://www.mext.go.jp/b_menu/daijin/detail/1331431.htm

執筆者プロフィール



橋本 新平

科学技術動向研究センター 客員研究官
株式会社 麻生 顧問

高校・大学時代はヒコウ少年、大学では流体力学を専攻するも商社会社に就職、アメリカでゼロスタートの事業を立ち上げ、2度の米国駐在を経験。現在は医療と教育関連事業に従事。



重茂 浩美

ライフイノベーションユニット
科学技術動向研究センター 上席研究官
<http://www.nistep.go.jp/>

獣医師、博士（農学）。ヒトや動物の疾病に関する分子病理学的研究に従事後、現職。食品、微生物、化学物質等の生活環境因子に係る安全確保のための科学技術政策に興味をもつ。