

光通信におけるイノベーションとネットワークの日米比較

研究代表者 清水 洋 一橋大学イノベーション研究センター 准教授

1 研究の目的

光通信は 20 世紀後半からの急激な情報技術の進展を支える重要な基幹技術の 1 つであり、現在では重要な社会のインフラストラクチャーとなっている。本研究は、光通信の重要な要素技術である半導体レーザーに焦点を当て、イノベーションの日米比較分析を行う。本研究プロジェクトは、半導体レーザーにおけるイノベーションとネットワークの関係を歴史的に量的、質的、双方から分析することが重要な特長である。

本研究では、日本における光通信におけるイノベーションについて大きく 3 つの観点から分析を進めてきた。以下では研究の方法を概観した後、それぞれの観点からの分析とその成果について紹介する。

2 研究の方法

2-1 量的なデータ

本研究では、科学者やエンジニアのネットワークとイノベーションの関係を歴史的に考察するために、応用物理レターズ (the Applied Physics Letters: APL) に 1962~2010 年に掲載された半導体レーザーについての研究論文を収集し、分析を進めた。

応用物理レターズは、アメリカ物理学会 (American Institute of Physics) が発行する学術雑誌であり、週に 1 回発行される速報性の高い雑誌である。事前の準備的なインタビュー調査によって、半導体レーザーの研究者は日米を問わず、技術的に重要な成果をこの雑誌に投稿していることが明らかになっている。また、実際に投稿されている論文をこの分野のその他の雑誌と比較しても、応用物理レターズに投稿された論文は高い水準となっている。さらに、応用物理レターズは、1962 年から発行されており、応用物理の領域における速報性の高い雑誌としては最も歴史がある。そのため、歴史的にネットワークとイノベーションの関係を分析する本研究プロジェクトでは、この応用物理レターズを用いて分析を進めている。

より具体的には、応用物理レターズに掲載された半導体レーザーの論文の共著関係から、科学者・エンジニアのネットワークの大きさ、中心性 (Centrality) を導出した。また、著者の所属組織とその移り変わりを流動性の代理変数として導出した。これらにより、ネットワークの大きさがどのように変化しているかが明らかになったと共に、どこの組織の研究者がネットワークで中心的な役割を担っていたかが明らかになった。また、論文の引用件数を基に、半導体レーザーの研究において重要な成果がどこから生み出されてきたのかを分析した。

2-2 質的なデータ

本研究プロジェクトでは、応用物理レターズを中心とした量的なデータと共に、日米の半導体レーザーの研究開発に携わってきた科学者やエンジニアへのインタビュー調査を行っている。インタビューの対象者は、論文の引用数、中心性の高さなどから抽出している。

研究者やエンジニアがどのようにネットワークを構築していったのか、ネットワークのあり方はどのように研究開発の成果に影響を与えるかなど、量的なデータのみでは分析が難しい点について、インタビュー調査を用いて分析している。インタビュー調査は、現在までに合計で 79 件のインタビュー調査を終了している。

3 研究の成果

3-1 半導体レーザーと光通信

半導体レーザーとは、半導体中の電子の光学遷移による光子の誘導放出を利用した光波の発振器および増幅器の総称である(栖原, 1998)。現在、半導体レーザーは、光通信やCD/DVDドライブ装置、フォトレジストやPOSシステム、レーザープリンターやセンサーなどの光源として広範に使われている。

半導体レーザーは1962年にアメリカで最初に発振が達成された。インターナショナル・ビジネス・マシーンズ(IBM)、ゼネラル・エレクトリック(GE)、マサチューセッツ工科大学(MIT)そして、イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校(UIUC)の4つの組織がほぼ同時に発振を達成した。これ以降、アメリカ・ラジオ(RCA)やベル研究所などのアメリカ企業だけでなく、日本の三菱電機や日本電気(NEC)、日立製作所、富士通、日本電信電話公社(現在のNTT)ソニー、シャープなどのエレクトロニクス企業が研究開発競争を行っていった。

半導体レーザーは極めて汎用性の高い技術(General Purpose Technology)であり、現在さまざまな用途で用いられているが、最初から用途が構想されていたわけではない。1962年にアメリカで発振した半導体レーザーは、液体窒素温度での発振であった。そのため、半導体レーザーの研究を進めていた企業や大学にとって、室温で連続発振可能な半導体レーザーを開発することが焦点となった。室温で発振しない限り、そのレーザーの用途は極めて限定的になってしまうからである。この当時、半導体レーザーに具体的な用途が考えられていたわけではなかった。

最初に半導体レーザーの用途として考えられたのは、光通信であった。1970年は半導体レーザーにとって大きな転換点となる年であった。まず、1970年にベル研究所が室温連続発振を達成した。このベル研究所の半導体レーザーは寿命が短く、数秒で光らなくなってしまうものであった。しかし、室温で発振するものであり、実用的な半導体レーザーの開発にとっては大きな技術的な成果であった。この室温連続発振の達成によって、企業はいよいよ半導体レーザーの具体的な用途を考え始めるようになったのである。

そして、半導体レーザーの室温連続発振が達成された1970年、研究開発を大きく方向付けるような技術がもう一つ開発された。アメリカのコーニング社が石英を使って光ファイバを開発したのである。それまでも光ファイバは開発されていたが、伝送損失は極めて大きく、長距離の光伝送に使えるものではなかった。1970年に開発されたコーニングの光ファイバは低損失であり、長距離の光通信に大きな可能性を開いた。この光ファイバは、 $0.8\mu\text{m}$ 前後で最も光の伝送の損失が小さくなるものであった。これはまさに当時の半導体レーザーの発振する光の波長であった。全くの偶然の一致であった。しかし、これによって半導体レーザーが光通信に使えるという構想が広がったのである。

1970年以降、半導体レーザーの研究開発は光通信を中心として進められるようになった。1970年代後半からは、半導体レーザーの用途はコンパクト・ディスク(CD)やデジタル・ヴァーサタイル・ディスク(DVD)、レーザープリンターやセンサーなどさまざまなものが現れた。しかし、1970年代以降も、光通信は半導体レーザーにとって重要な用途であり続けている。

3-2 企業の垂直統合の程度、ネットワーク、イノベーション

本研究プロジェクトのこれまでの研究成果の第1の観点は、産業組織のあり方と、研究者のネットワーク、イノベーションの関係に関するものである。

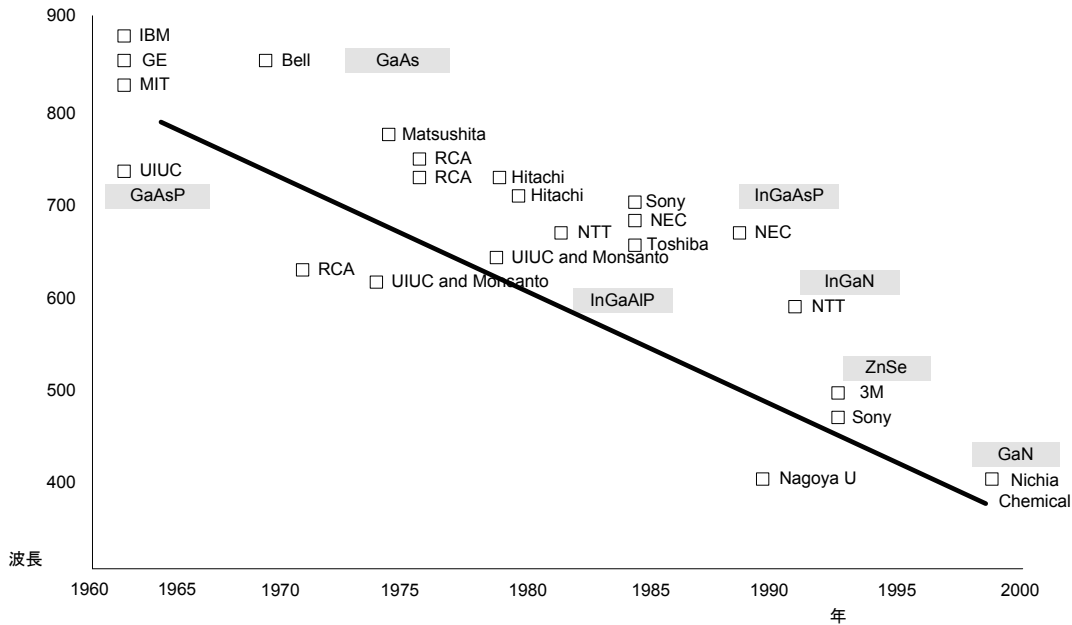
これまでのネットワークとイノベーションに関する先行研究においては、ネットワークの拡大はイノベーションの創出につながると考えられてきた(Gulati, 1999, Powell, Koput and Smith-Doerr, 1996)。しかしながら、日本とアメリカの半導体レーザーの技術発展の経路を1960年代から2010年代まで歴史的に分析すると、研究者のネットワークの拡大が必ずしもイノベーションに結びついていないことが分かる。

半導体レーザーの研究開発の水準を、論文の引用数などから分析すると、1960年代から1970年代前半までは明らかにアメリカが先行していたことが分かる。しかしながら、1970年代中頃から日本企業がその研究開発の水準を大きく向上させていった。また、本研究では、日米企業が1970年代後半から徐々に異なる技術発展の軌跡をたどっていったことを明らかにした。具体的には、日本企業はマスマーケット用の半導体レーザーの開発を続けていた一方で、アメリカ企業はカスタマイズ市場へと研究開発のターゲットを移していた。そして、この技術選択には、日米企業の垂直統合の程度、科学者の労働の流動性、研究のネットワークが研究開発ターゲットの選択に重要な影響を与えていたということが本研究プロジェクトの議論である。

前述のように、半導体レーザーは1962年に米国で生み出された。それ以降、IBMやGE、RCA、ベル研究所、NEC、NTT、三菱電機、日立製作所といったエレクトロニクス、通信分野の大企業が一斉に研究開発競争へと

参入した。下の図は、レーザーディスクやCD、レーザープリンターやPOS スキャナー、DVD などに使われている短波長の半導体レーザーの技術のトラジェクトリー（技術的な問題に対してとられた解決策の軌道：ここでは半導体の材料と波長。Dosi, 1982）と重要なブレイクスルーをプロットしたものである。四角はブレイクスルーを起こした組織を、網掛けはその時に使われた半導体レーザーの材料を示している。1960 年代から 70 年代にかけてはベル研究所や RCA といったアメリカ企業がリードしていたことが分かる。世界の研究をリードしていたのはアメリカの研究者であった。しかし、1980 年代に入ると日本企業から多くの技術的なブレイクスルーが生まれていることが分かる。

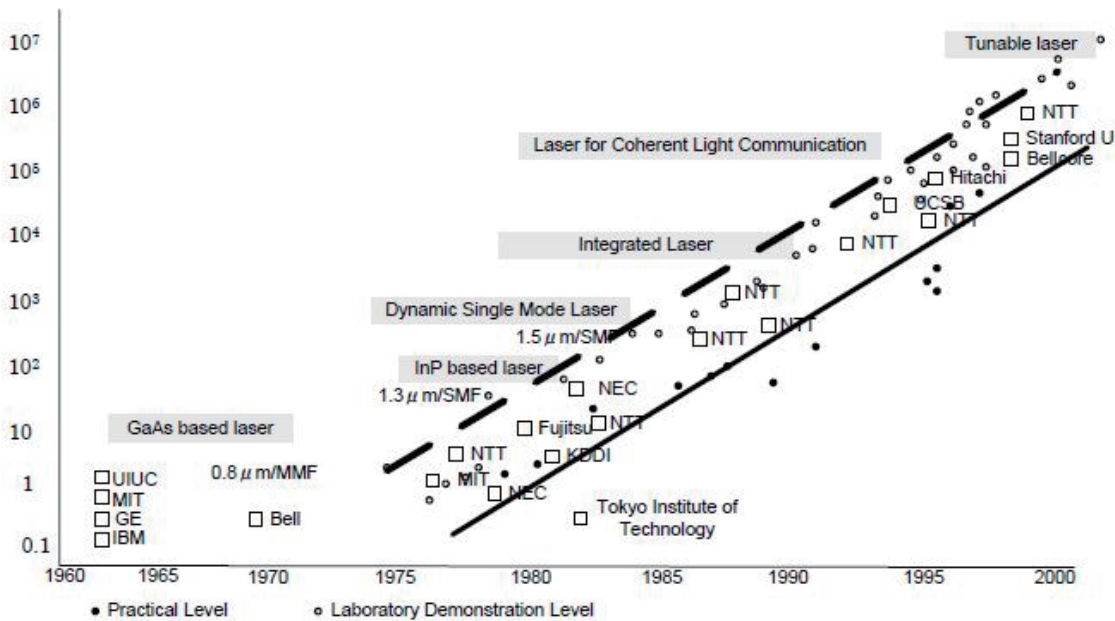
図 1：半導体レーザーのイノベーション（短波長）



(出所：Shimizu, 2010b)

図 2 は光通信用の半導体レーザーのイノベーションを情報伝達量を縦軸にプロットしたものである。ここでも図 1 と同じように 1980 年代に入ると日本の組織から多く技術的なブレイクスルーが生まれていることが分かる。

図 2：半導体レーザーのイノベーション（長波長：通信用）



出所：(Shimizu, 2010a)

なぜ 1980 年代以降、アメリカ企業からはイノベーションが少なく、多くのイノベーションが日本企業から出てくるようになったのだろうか。そこでは、日米の産業組織のあり方に大きな違いが生まれていた。

1980 年代前半から米国のエレクトロニクス企業の多くは利益率の高いビジネスへと事業を集中させていった。その中で IBM や GE のように半導体レーザーの開発を縮小させていったところも多かった。しかし、それまで世界をリードしてきたアメリカの研究者たちが歴史の中から姿を消すことになったわけではなかった。彼らは半導体レーザー技術を活用し、大企業からスピンオフし、ベンチャーを設立していったのである。1980 年代から多くのベンチャー企業が半導体レーザーの分野で生まれたのである。レーザーは「未来の技術」のアイコンでもあり、多くのベンチャーキャピタルがこぞって投資をした。また、スターウォーズ計画と呼ばれるアメリカの軍事計画によって莫大な資金がレーザーの研究に投じられたことも重要であった。スピンオフは大企業からだけではなく、MIT やカリフォルニア工科大学などからスター研究者がベンチャービジネスを立ち上げた。彼らはスピンオフし、ハイパワーレーザーやディテクター、センサーといったニッチの市場をターゲットとした。多くのベンチャー企業が設立されると共に、アメリカにおいて研究者のネットワークが急激に拡大していった。経営資源が比較的限られているベンチャー企業を中心となって、それぞれの補完的な資源を活用するために共著論文が増加していったのである。ネットワークが拡大し、組織外部にある補完的な経営資源へのアクセスが容易になるとさらにベンチャー企業数は増加していった。その結果、前掲の図にあるような技術のトラジェクトリーから米国の研究者たちは抜けていったのである。言い換えれば、米国での技術開発がトラジェクトリーの外で行われるようになったのである。一方、日本企業は相変わらず同じ市場を目指して競争していた。その結果、同じ市場において研究開発投資が行われ、1980 年代以降、日本から多くの技術的なブレークスルーが生まれるようになったのである。技術のトラジェクトリー上では、漸進的に技術開発が進む。技術開発においては、ラディカルなイノベーションだけでなく、累積的なインクリメンタルな改良は技術発展にとって大きな重要性を持つ (Rosenberg, 1979)。インクリメンタルな改良がなされなければ、実用化されない技術がほとんどである。技術のトラジェクトリーができること、つまり技術開発に携わる人が同じような基準を持ち、同じようなアプローチで技術開発を進めることによって、漸進的に技術開発は進んでいく。しかし、この半導体レーザーの事例からは、そのような地道な努力がなされる前に優秀な技術開発者の多くが外にスピンオフしてしまうと、累積的な技術開発が起こらなくなることが分かる。社会的に見ると、ベンチャービジネスは、垂直統合の程度の高い大企業がターゲットにはできない小さな市場を開拓するという機能を果たす。これは重要な役割であるが、早く優秀なエンジニアがスピンオフして、ニッチ市場へと向かうと、累積的な技術開発が望めず、トラジェクトリー上にある技術が発展しないことが分かる。

日本企業と比べ垂直統合の程度が低かったアメリカ企業は、半導体レーザーの研究開発機能を縮小させて

いった。その結果、研究開発機能を担うベンチャー企業が台頭してきた。ベンチャー企業はCDやDVD用、あるいは光通信用といったマスマーケットではなく、比較的小さな規模ではあるが競争の少ない市場へと特化していった。そのため、アメリカでは研究開発への投入が市場において、サブマーケットに拡散したとも言える。このことが、イノベーションがそれまでの技術発展の軌道上で起こらなくなってきたことの背後にあったのである。日本の場合は、垂直統合の程度が高い企業と同じ領域で競争し続けた結果、技術発展の軌道上で多くのイノベーションが見られるようになったのである。

これらの詳しい分析は、*Australia Economic History Review, Business History, Business and Economic History On-Line*に掲載された論文で議論している。

3-3 日本の研究者コミュニティの構築

本研究プロジェクトの成果の2つ目の観点は、日本における研究者のコミュニティについてである。半導体レーザーの技術開発において日本企業は、アメリカの企業や大学と競争してきたものの、1970年代中頃までは、重要な技術開発は全てアメリカが先に開発していた。日本企業がその技術力で世界に追いついていくのは、1970年代に入ってからであった。また、日米の企業や大学によって生み出された技術を論文の引用数で分析すると、特定の日本企業の技術水準が向上したというよりもむしろ、日本企業全体の水準が上がっていた(Shimizu, 2010c)。

インタビュー調査を基に、ここでは、なぜ日本企業が揃ってこの時期に技術力を向上させることができたのかを、企業の境界を超えた研究者のコミュニティの成立に注目して議論した。そして、そこでは、ベル研究所から帰国した研究者の林巖雄が重要な役割を果たしていたことを明らかにした。

具体的な事例を少し見ていこう。アメリカで1962年に最初の半導体レーザーの発振が達成されてから、すぐに三菱電機や日立製作所、日本電気、電電公社などの日本企業もすぐに研究を開始した。しかし、1960年代はIBMやRCA、GE、ベル研究所やMITなどアメリカの組織が研究開発において常にリードしていた。しかし、1970年代中頃から、高い技術的な成果の多くは日本企業から生み出されるようになっていったのである。

当時、半導体レーザーの研究開発に携わった日米の研究者やエンジニアへのインタビュー調査から、1970年代前半に日本の研究コミュニティに質的に大きな変化が起こっていたことが明らかになった。1970年代に入ると日本の研究者の間に、組織の境界を超えたインフォーマルな研究コミュニティが成立してきたのである。この研究コミュニティでは、それぞれの組織が直面していた技術的な問題が議論されていた。熾烈なプライオリティ競争を行っている企業の研究者は、通常、トップデータの公表には積極的だが、ネガティブデータについては外には出さない。トップデータは、自らの研究開発の水準の高さのアナウンスになるが、ネガティブデータは直面している技術的な問題を明らかにしてしまい、弱みを露呈させてしまう恐れがあるからである。しかし、研究開発においては、ネガティブデータが共有される重要性は大きい。ネガティブデータが共有されれば、研究開発における二重投資をある程度避けることができ、効率性は高まる。現場で徹底的に執念を持って研究や開発を行なっている研究者やエンジニアがコミュニティでつながれることによって、情報の流れは速くなり、彼らの資源配分がより効率的なものとなるのである。研究コミュニティが重要な理由の1つはここにある。

この研究コミュニティにおいて中心的な役割を担っていたのが林巖雄であった。林は、1970年にベル研究所が半導体レーザーの室温連続発振を達成したときの研究者であった。林は、1971年にアメリカから帰国し、NECのフェローとして日本の研究者の間に企業の境界を超えて活発な議論を行うようなコミュニティをつくるための働きかけを意識的に行った。林は、1970年以前の日本の研究者はもっぱら海外の情報に関心を持っているばかりであったと回想している(林、1989)。そのため林は、この状況を変えて、企業の境界を超えた研究者の間のコミュニティを日本に創り出そうとしたのである。

インタビュー調査では、企業の境界をこえた研究者のコミュニティが1970年代前半から成立し始め、それが半導体レーザーにおける日本企業の研究開発を大きく進めたという指摘が実際に研究開発に携わった多くの研究者からなされている。例えば、日立製作所において半導体レーザーの研究開発をリードしていた伊藤良一は、「このキングが利得導波型のレーザに本質的であるのはのちに明らかになった。そのきっかけは国内の半導体レーザ研究者のインフォーマルな研究会であった。誰が口火を切ったのか(日本電気の米津氏ではなかったかと思う)、I-Lにキングが頻発し、それに悩まされているという話しになり、キングが多くのレーザに共通の、普遍的な現象であるという認識が一挙にできあがった。このことが日本のレーザの発展を著しく促進したことはいくら強調しても強調しすぎることはない。」という。林によれば「このころ(劣化の原因が解析され始めた1970年代前半)になると国内の研究機関、主に企業間の情報伝搬が早くなった。米国で

研究者たちが、自分の所属にとらわれず、熱心に討論する様子を見てきた私は、日本でもこのような気風を育てようと努力した。そのかいあってか、国内企業の研究者たちは、競争の中にも有効な討論を行うようになった。」という（林、2001）ⁱ。

もちろん企業は製品市場では競争しているため、企業の研究者は研究者は全てのデータを公開するわけではなかった。しかしながら、インフォーマルには自由に技術的な問題が企業の境界を越えて議論されるようなコミュニティが成立していったのである。コミュニティの果たす役割は、研究開発が黎明期の場合さらに大きくなる。研究が基礎的な場合、その技術は不確実性が大きく、企業内部では技術に対する投資の正当性の確保が大きな問題となる。そのため、企業の研究者にとっては、研究開発で自社がリードしているということを示すこととともに、その分野で重要な技術革新が起きつつあるという事実が資源動員の正当性の確保には欠かせない。1970年代前半に組織の境界を越えた研究者のコミュニティが成立したことは、この点においても大きな重要性を持っていた。

このような組織の境界を超えたコミュニティの意義は現在ますます大きくなっている。これまで日本の競争力を支えてきた自動車産業や精密機械工業、金型産業に代表される組み立て加工型の産業においては、現場での長年の熟練によって生み出される企業特殊な暗黙知が重要な役割を担ってきた。「日本的経営」として1980年代に注目された長期的な雇用慣行や相対取引、ケイレツなどは企業特殊な暗黙知識の共有を促進する機能を有していた。しかしながら、科学的な知識が製品やサービスに密接に結びつくサイエンス型産業では、企業特殊で暗黙的な知識に加えて、最新の科学知識へのアクセスの重要性が極めて高い。科学的な知識の体系を共有している研究者のコミュニティが果たす役割は大きい。特に、研究開発上の失敗やネガティブデータがある程度インフォーマルにオープンにした上でフランクに議論することを可能にするコミュニティは、資源のより効率的な利用を可能にし、研究開発の効率性の向上に大きく貢献する。また、研究者たちが研究上の方法や基準などで同じような枠組みを共有していることも研究開発の成果に大きな影響を与える。多くの研究者が、枠組みの共有が成されていればこそ、研究の精緻化は進む。累積的な研究開発成果が見込めるのである。この点についての詳しい分析は、『一橋ビジネスレビュー』に掲載された論文で行っている。

3-4 企業の研究開発における博士号研究者の機能

本研究プロジェクトの成果の第3の観点は、企業の研究開発における博士号研究者の機能である。この観点は、本研究プロジェクトを始める段階では想定されていたものではなかった。しかし、インタビュー調査を進める過程で、半導体レーザーの研究で博士号を取得した人の名前、博士号取得年、大学名、論文のタイトルなどが世界的に網羅されたデータをインタビューイから提供して頂いた。これは世界の半導体レーザーの博士号取得者について網羅的にカバーしているだけでなく、1960年代から2000年代までをカバーしている極めて資料的な価値が高いものである。

この資料はさまざまな研究に利用可能であるが、本研究プロジェクトでは、日本企業の研究開発における博士号研究者の機能について分析を進めた。日本には課程博士と論文博士という2つの博士号が存在する。課程博士は大学院の博士課程に在籍し、学位審査に合格した者に授与されるもので、論文博士は博士課程に在学せずに学位審査に合格した者に授与されるものである。これまで、日本企業においては修士号を取得し、就職し、研究開発に携わるものが多かった。そして、企業の研究所での成果を基に論文博士を取得する研究者も少なくなかった。半導体レーザーの事例でも、多くの企業の研究者が論文博士を取得していた。そこで本研究プロジェクトでは、博士号を取得した研究者を論文博士と課程博士に分けた上で、論文と特許のデータを用いて、2つの異なる博士号取得者の企業の研究開発における機能を分析した。表1・2は、それぞれ論文数と特許数、そしてそれらの引用数の結果を示している。課程博士は University-based、論文博士は Industry-based と記している。

表1：論文数と引用数

	University-based	Industry-based	Non-doctoral	Non-doctoral collaborating with university-based	Non-doctoral collaborating with industry-based	Non-doctoral collaborating with both university-based and industry-based	Kruskal-Wallis test: chi-squared with ties
Number of observations	15	73	113	15	137	51	
Average number of papers	2.60 (2.47)	3.11 (2.26)	1.55 (1.09)	1.47 (1.02)	2.47 (2.00)	3.06 (2.53)	59.99***
Average number of citations	29.76 (32.06)	25.74 (14.26)	16.31 (14.83)	25.23 (12.91)	25.63 (19.03)	18.06 (12.18)	29.07***
Average number of citations (standardized)	1.09 (1.43)	1.01 (0.54)	0.60 (0.58)	1.06 (0.54)	1.02 (0.79)	0.67 (0.42)	31.94***
Average number of max paper citation	38.00 (30.96)	41.33 (25.27)	19.66 (22.33)	29.80 (17.04)	38.15 (31.50)	27.20 (19.15)	45.68***
Average number of max paper citation (standardized)	1.38 (1.40)	1.63 (1.02)	0.73 (0.92)	1.26 (0.74)	1.48 (1.24)	0.99 (0.63)	49.57***

Notes: Numbers in parentheses signify standard deviation. Asterisks (***) denote significance at the 1% level.
Source: *Applied Physics Letters*, 1960–2000; Web of Science.

(出所: Shimizu and Hara, 2010)

表 2: 特許数と引用数

	University-based	Industry-based	Non-doctoral	Non-doctoral collaborating with university-based	Non-doctoral collaborating with industry-based	Non-doctoral collaborating with both university-based and industry-based	Kruskal-Wallis test: chi-squared with ties
Number of observations	15	73	113	15	138	51	
Average number of patents	4.77 (6.09)	6.65 (12.55)	1.87 (4.74)	0.10 (0.37)	3.68 (7.56)	3.46 (9.38)	45.26***
Average number of patent citations	0.21 (0.30)	0.30 (0.61)	0.08 (0.23)	0.00 (0.01)	0.17 (0.37)	0.17 (0.45)	41.46***
Average number of patent citations (standardized)	0.09 (0.12)	0.13 (0.19)	0.07 (0.18)	0.00 (0.01)	0.14 (0.35)	0.08 (0.19)	29.06***
Average number of max patent citation	1.60 (1.70)	2.01 (2.79)	0.63 (1.14)	0.03 (0.12)	1.14 (1.75)	0.89 (2.01)	47.15***
Average number of max patent citation (standardized)	0.160 (0.09)	0.191 (0.15)	0.121 (0.11)	0.044 (0.07)	0.184 (0.16)	0.140 (0.13)	30.88***

Notes: Numbers in parentheses signify standard deviation. Asterisks (***) denote significance at the 1% level.
Source: Japan Patent Office, Tamada Database.

(出所: Shimizu and Hara, 2010)

この結果から、論文博士、課程博士ともに論文数においても特許数においても、半導体レーザの分野で博士号の学位を取得していない研究者よりも高い成果を残していることが分かる。また、それぞれの共著者の成果を見てみると、論文博士とともに研究を進めていた研究者が、課程博士の共著者よりも多くの成果を残していることが分かる。論文博士は、学位取得のプロセスにおいて、学会での発表や大学での研究会などを通じて、外部の知識に接することが多くなる。また、学位取得のためには優れた研究成果が必要となる。そのことから、論文博士は外部の知識を企業内部に吸収し、研究開発を促進する役割を果たしていたことを示唆している。この点に関しては、*Prometheus* に掲載された論文で詳しく論じている。

【参考文献】

- Giovanni Dosi, “Technological Paradigms and Technological Trajectories: A Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change” *Research Policy*, Vol.11, pp. 147-162, 1982.
- Ranjay Gulati, “Network Location and Learning; the Influence of Network Resources and Firm Capabilities on Alliance Formation” *Strategic Management Journal*, Vol.20, pp. 397-420, 1999.

Walter W. Powell, Kenneth W. Koput, and Laurel Smith-Doerr, “Interorganizational Collaboration and the Locus of Innovation: Network of Learning in Biotechnology” *Administrative Science Quarterly*, Vol.41 (1), pp.116-1145, 1996.

Nathan Rosenberg, “Technological Interdependence in the American Economy” *Technology and Culture*, Vol.20 (1), pp. 25-50, 1979.

Hiroshi Shimizu, “Pitfalls of Open Innovation: Technological Trajectory in Laser Diodes in the United States and Japan” *Business and Economic History On-Line*, Vol.8, 2010a.

Hiroshi Shimizu, “Different Evolutionary Paths: Technological Development of Laser Diodes in the U.S. and Japan: 1960-2000” *Business History*, Vol.52 (7), pp. 1151-1181, 2010b.

Hiroshi Shimizu, “Scientific Breakthroughs and Networks in the Case of Semiconductor Laser Technology in the US and Japan, 1960s-2000s” *Australia Economic History Review*, Vol.51 (1), pp. 71-95, 2011.

Hiroshi Shimizu and Yasushi Hara, “Role of Doctoral Scientists in Corporate R&D in Laser Diode Research in Japan” *Prometheus*, Vol.29 (1), pp. 5-21, 2011

清水洋 「科学技術におけるコミュニティ構築のリーダーシップ」『一橋ビジネスレビュー』第 58 巻 4 号, 52-65 頁, 2011 年

栖原敏明『半導体レーザーの基礎』共立出版, 1998 年

林巖雄 「半導体レーザーの室温 CW は日本でもできたか?」『応用物理』第 58 巻、517 頁、1989 年。

林巖雄 「半世紀の研究遍歴-好きな研究に打ち込む」『応用物理』第 70 巻、第 9 号、1044 頁、2001 年。

〈発 表 資 料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Pitfalls of Open Innovation: Technological Trajectory in Laser Diodes in the United States and Japan	<i>Business and Economic History On-Line</i>	2010
Different Evolutionary Paths: Technological Development of Laser Diodes in the U.S. and Japan: 1960-2000	<i>Business History</i>	2010
Scientific Breakthroughs and Networks in the Case of Semiconductor Laser Technology in the US and Japan, 1960s-2000s	<i>Australia Economic History Review</i>	2010
Role of Doctoral Scientists in Corporate R&D in Laser Diode Research in Japan	<i>Prometheus</i>	2010
科学技術におけるコミュニティ構築のリーダーシップ	『一橋ビジネスレビュー』	2011

i 括弧内は著者による注釈である。