

ジェネラル・パーパス・テクノロジーのイノベーション ：半導体レーザーの技術進化の日米比較

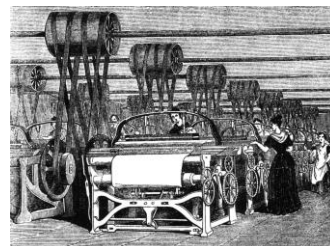
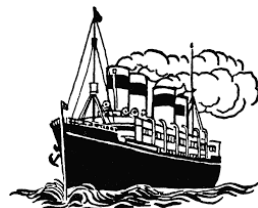
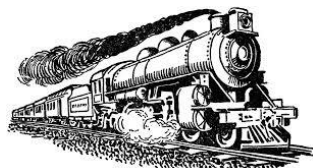
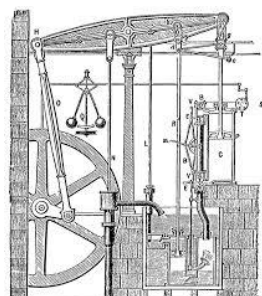
一橋大学イノベーション研究センター

清水洋

shimizu@iir.hit-u.ac.jp

ジェネラル・パーパス・テクノロジーと流動性

- 汎用性の高い技術（ジェネラル・パーパス・テクノロジー）は、どのように進化していくのだろうか



- 経営資源の流動性とイノベーションの関係

- 流動性が高ければ高いほど、イノベーションにつながるのか



ジェネラル・パーパス・テクノロジー

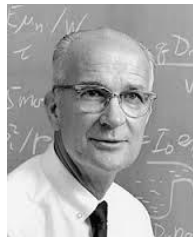
- 汎用性の高い技術 (Helpman, 1998, Lipsey, et al. 2005)
 - 多くの領域に応用される
 - 大きな波及効果
 - 帆船効果も
 - 累積的なイノベーションが重要に
 - 最初から完成された技術はない
- 幹の太い技術に育て、多くの果実を摘み取る
 - 累積的なイノベーションが重要に
 - 新しいサブマーケットの開発

サブマーケット

- 顧客の特殊な趣向や特別な技術の存在により分割されたある市場における
下位区分
 - ニッチ市場との違い
 - サブマーケットの大きさは小さいとは限らない
 - 経営資源の転用可能性
 - 例：航空機市場
 - 国防用と民間用では、技術基盤の一部は同じだが、顧客の要望やそれに応えるための技術は異なる
- 既存の技術が基盤となる
 - ただし、新しい用途に応用するための投資が必要に（Buenstorf and Klepper, 2010）
- スピンアウトはサブマーケットの開拓に重要な役割を果たす

スピニアウトとイノベーション

- イノベーションのための重要な経路
 - 既存企業で生み出された知識を既存企業ではターゲットとすることができないビジネス機会
 - 既存企業の能力を破壊するような製品やサービス
 - 既存企業にとっては小さすぎる市場規模
- シリコンバレーにおける多くのスピニアウト



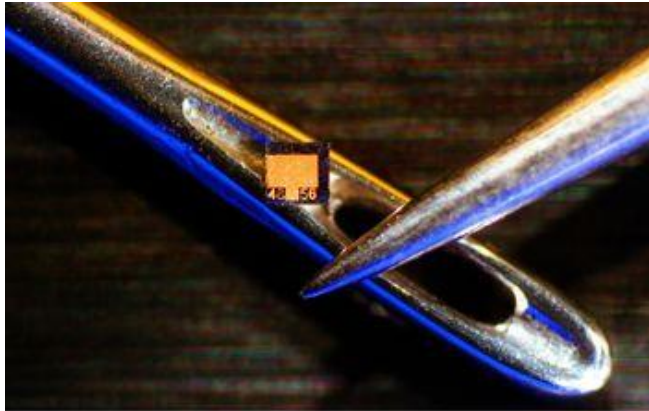
シリコンバレーモデル

- シリコンバレー型の産業集積を創る

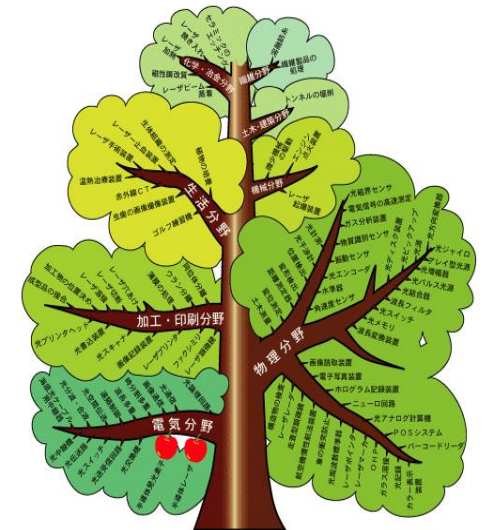
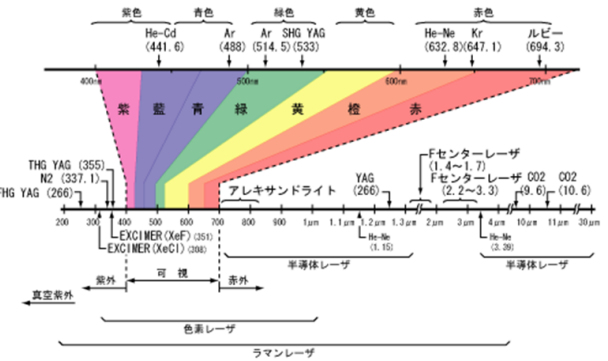
- リスクマネーの供給
 - ベンチャー・キャピタルの制度整備
- 知識を生み出すハブ組織
 - 大学や国の研究機関
 - ネットワーク
- 流動的な労働市場
 - 高いスキルを持った人材の流動性



- 本当にこれらはイノベーションを促進するのだろうか?



分類	レーザ媒質	波 (μm)
気体レーザ	CO2 (炭酸ガス)	10.6
	He-Ne(ヘリウム・ネオン)	0.6328
	Arイオン	0.5145
		0.488
	エキシマXeF	0.35
	エキシマXeCl	0.308
	エキシマKrF	0.249
固体レーザ	エキシマArF	0.193
	Er: YAG(エルビウム: イットリウム・アルミニウム・ガーネット)	2.96
	Nd: YAG(ネオジム: イットリウム・アルミニウム・ガーネット)	1.06
	Nd: YAG SHG (第2高周波)	0.53
	Nd: YAG THG (第3高周波)	0.35
	Nd: YAG FHG (第4高周波)	0.26
	ルビー	0.6943
半導体レーザ	例: GaAlAs(3元) InGaAsP(4元)	0.85
		1.3
色素レーザ	ローダミン他	1.55
		0.3-1.2



半導体レーザーの誕生

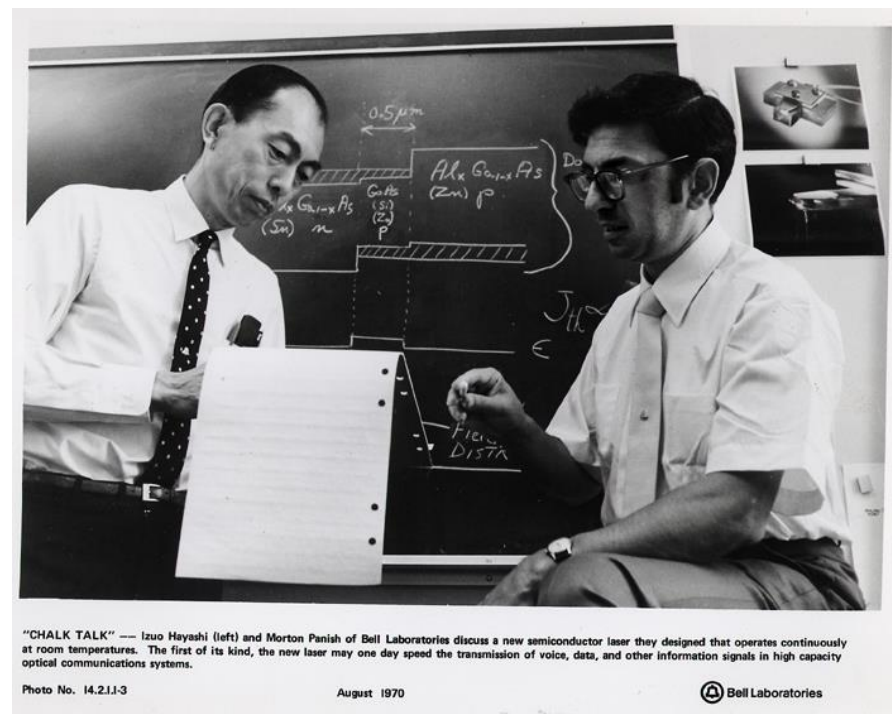
- 半導体レーザーの最初のアイデア
 - 1953年、ジョン・フォン・ノイマン
 - 学会などでの発表は行わず
 - 1957年、東北大学の西澤潤一が特許出願
 - 1957年、GEのホールらが特許出願
 - これらは特許として成立したが、実現性にはかなりの疑問が
- 1962年：最初の半導体レーザーの発振
 - MIT, IBM, GE, イリノイ大学がほぼ同時
 - 液体窒素温度でのパルス発振
- 半導体レーザーは小さく、消費電力も小さいと考えられており、多くの企業が研究開発を開始した
 - アメリカ：ベル研究所、IBM, GE, RCAなど
 - 日本：三菱電機、東芝、日立製作所、富士通、日本電気、NTTなど
 - まずは、追試から

室温連続発振を求めて

- 研究開発競争
 - ベル研究所、GE、RCA、ウエスティングハウス、TI、MITなど
 - 三菱電機、日立製作所、日本電気、東芝など
- RCAのヘンリー・クレッセルのグループと三菱電機の須崎渉のグループがリード
 - ただし、8年たってもまだ室温連続発振は達成できず
 - 多くの日本企業は半導体レーザーの研究開発をストップ

室温連続発振の達成

- 1970年：半導体レーザーの室温連続発振達成
 - ベル研究所の林巖男、モートン・パニッシュ
 - 実際は、ヨッフエ物理学技術研究所のジョレス・アルフォーロフが2ヶ月先だった
 - 材料：GaAs
 - 発振波長：800nm



偶然の開発：光ファイバー

- 1970年：低損失の光ファイバーの開発
 - コーニング
 - 800nm帯で、損失が最低に
 - ベル研究所で室温連続発振を達成した半導体レーザーの波長と偶然にも一致
 - 長距離の光通信の可能性
- 半導体レーザーの研究開発は光通信用に
 - 長距離、中距離、短距離
 - 朝日新聞の報道は実際には誤報

長寿命化

- 朝日新聞の報道は誤報

- 「一粒の砂より小さく、また閃光電池の力で百万時間作動するレーザーの開発成功」と報じる

- しかし、実際は林が記者からの質問に「百万時間ももつようになるだろう」と答えたものが記事になった

- 実際には、当時の半導体レーザーは数秒しか光らない

- 長寿命化が重要な研究開発の焦点に

- 「現在問題になるのは、寿命という一点にしばられてくる」(NEC、南日、1972年)

砂粒ほどのレーザー開発

通信に画期的システム

【ワシントン17日米AP電】米NECの半導体レーザー技術開発部門の主任技術者、南日(ナニシ)は、その開発した半導体レーザーの寿命が、従来の半導体レーザーの千分の一に短縮されたことを、このほど発表した。南日は、このレーザーは、従来の半導体レーザーよりも、100倍も寿命が長いと主張している。南日は、このレーザーは、従来の半導体レーザーよりも、100倍も寿命が長いと主張している。南日は、このレーザーは、従来の半導体レーザーよりも、100倍も寿命が長いと主張している。

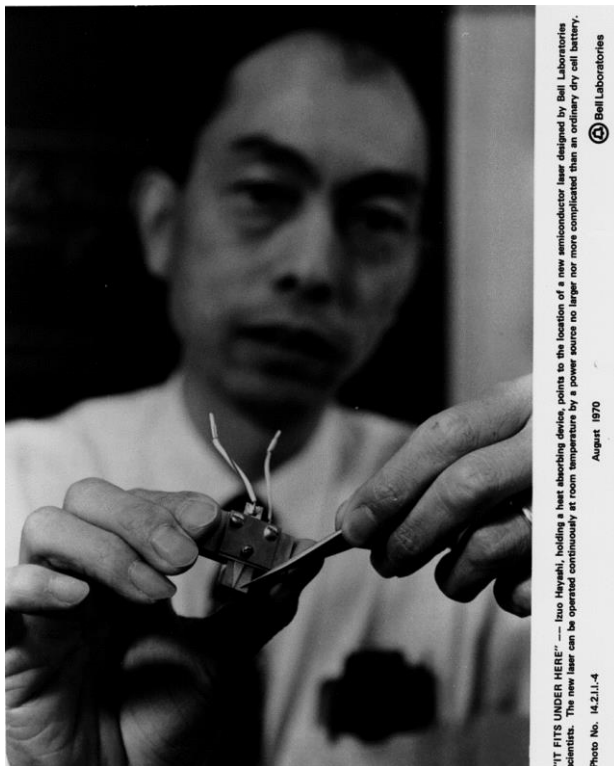
南日は、このレーザーは、従来の半導体レーザーよりも、100倍も寿命が長いと主張している。南日は、このレーザーは、従来の半導体レーザーよりも、100倍も寿命が長いと主張している。南日は、このレーザーは、従来の半導体レーザーよりも、100倍も寿命が長いと主張している。

朝日新聞夕刊 1970年9月1日

日本企業の研究水準の高まり

- 1979年：最初の商用光通信
 - フロリダのディズニーワールド内の光通信に日本電気の半導体レーザーが使われる
- 1981年：ノースコリドール事件
 - AT&TのワシントンDC-ニューヨーク、ボストンを結ぶ光通信網に、富士通の半導体レーザーが最も高い評価を得る
 - しかし、連邦通信委員会の判断から採用は中止に

日本から多くのイノベーション



- 長寿命化、短波長化
- 光通信、CDやDVDなどの光源

IBM [REDACTED]

GENERAL BUSINESS GROUP
Dept. [REDACTED]
Extension [REDACTED]

March 30, 1977

Memo to: Mr. [REDACTED]
Subject: Trip Report - Japan (March 7 - March 17, 1977)

Summary:

Mr. [REDACTED] of SPD Procurement and I visited six Japanese companies in order to assess and up-date our present knowledge of Japanese technology in solid-state injection lasers. The main purpose of the trip, however, was to determine as to whether or not any of these companies might be able to provide to us injection lasers that would meet the specifications of the Castle project, especially with respect to long lived reliability (≥ 5000 hours). The following observations and conclusions were made:

- 1) Japanese R & D efforts in semiconductor laser development has not only caught up, but has surpassed the U. S. activities. This may be attributed to determination, well managed coordinated efforts and most of all, program continuity. IBM research, the co-inventor of this device, and certainly possessing at least an equal inherent technical capability, is 2-3 years behind the Japanese efforts, due to lack of program continuity and emphasis on product improvement.
- 2) All six Japanese companies that were visited had ongoing programs geared towards the production of long lived, reproducible laser diodes.

522046

522046

新市場の出現

- 1960年代の試み

- 3Mの実験

- 1961年：フォノグラフィック・レコードを使ったビデオディスクの実験
 - LDやCDやの先駆け的な試み

- スタンフォード研究所

- 1963年：ヘリウムネオンレーザーを使い最初にビデオディスクを試作

- 1970年代中頃から

- ビデオディスクや文書管理システムの構想

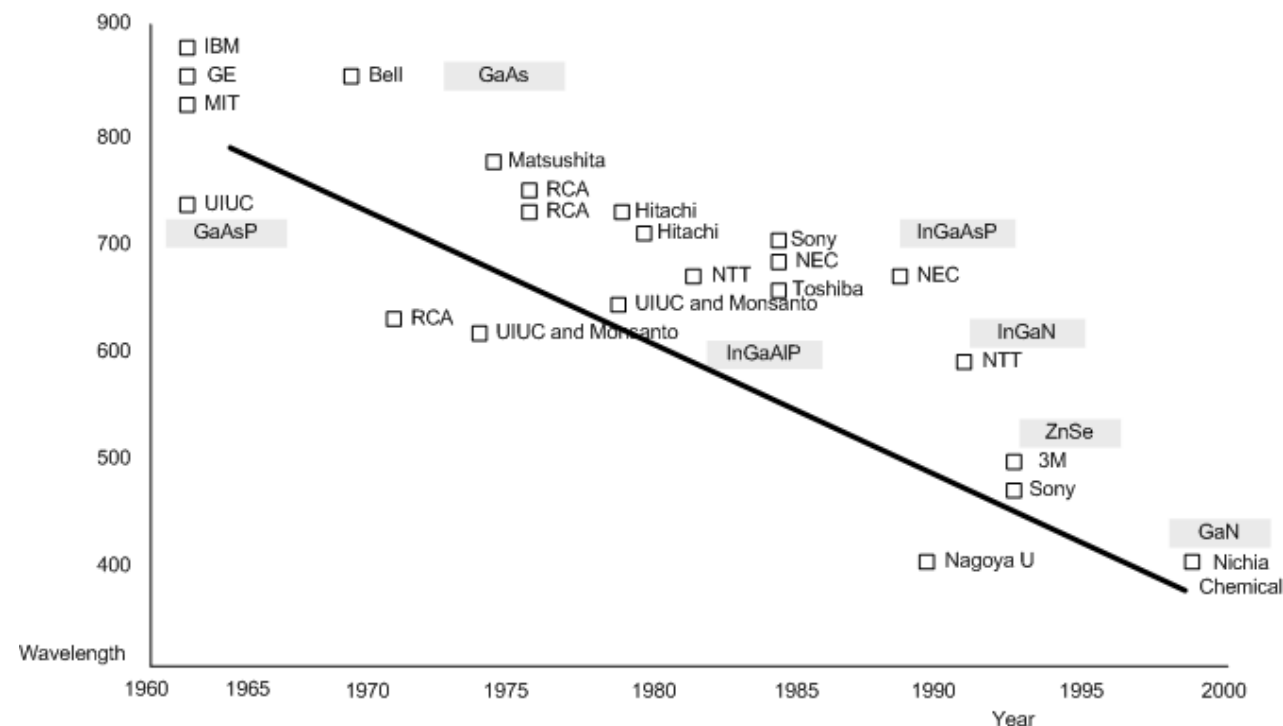
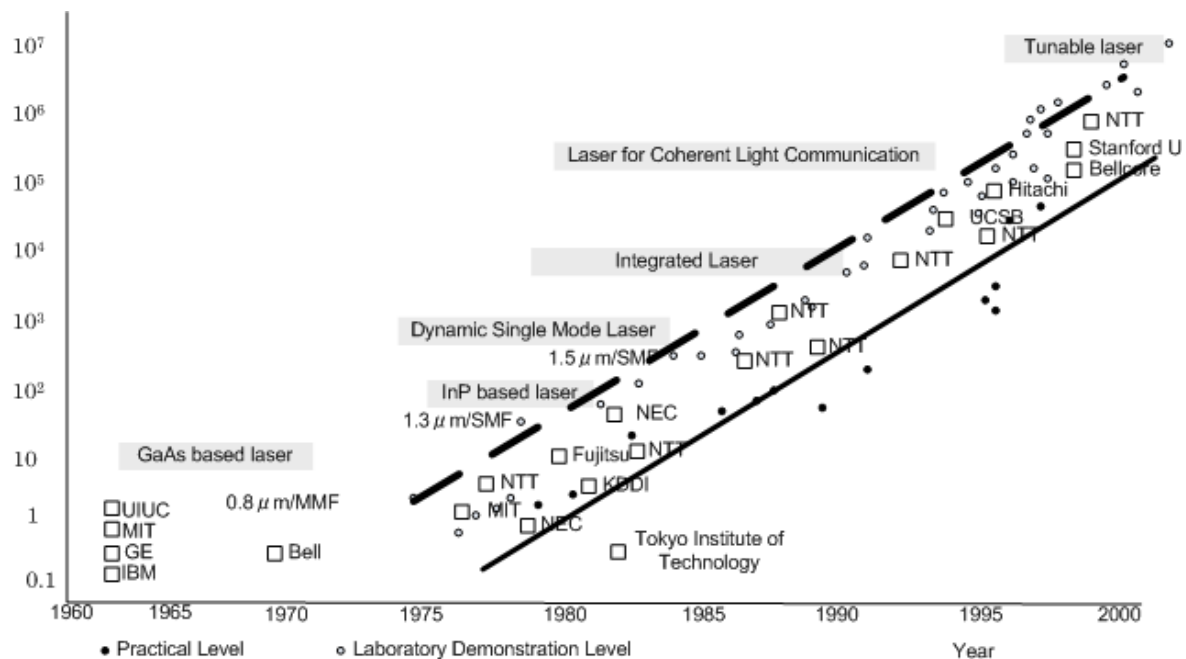
- フィリップスやMCA、RCA、松下電器、日立製作所、三菱電機、東芝、日本電気など

- デジタル・オーディオ・ディスク

大きな期待がかかる新市場



半導体レーザーの技術の軌道



なぜ、1980年代以降アメリカからブレークスルーが少なくなったのか

なぜ、日本企業からのブレークスルーが多くなっていったのか

なぜ、1980年代以降アメリカからブレークスルーが少なくなったのか

- 研究開発への資源動員がサブマーケットに拡散したため
 - 多くのスピンアウト
 - 高い流動性

- 最初のスピンアウト
 - RCAから1967年にスピンアウト
 - レーザー・ダイオード・ラボラトリーズ
 - ただし、当時は室温連続発振も達成されておらず、失敗に終わる

グレッグ・オルソン

- RCAを1984年にスピンアウト
- Epitaxxを設立
 - 受光器のスタートアップ
- “To RCA the photodetector was no big deal – just a \$1 to \$2 million market” and “To me, however, a \$2 million market didn’t seem small at all” (Olsen, 2009, p.59).
- ISSまで宇宙旅行をした三番目の民間人
 - 2000年に、2つ目のスタートアップ（Sensors Unlimited）をおよそ6億ドルでフィニサーに売却



ドナルド・サイファ

- Donald Scifres
 - Xeroxでレーザープリンター用の半導体レーザーの開発
 - 1983年にスピナウト
 - スペクトラ・ダイオードを設立
 - 宇宙衛星間の通信用に
 - 1992年に400万ドルでMBO
 - 2000年にJDS Uniphaseに410億ドルで売却



JTECのレポート

- 「アメリカ経済の重要なベースである活発な**企業家的**な産業界の特徴によって、**無数の小さな企業が大規模な親企業から分離独立**した。このような動きは**実質的**には日本では見られない。」
- 「このような小規模企業は、光部品の製造に**特化しており**、システム志向の大規模企業と直接競合するポジションに位置づけることはほとんどない。小規模企業は、**専門化し、小さなニッチ市場をターゲット**としている。そのような企業が成長し、そのニッチ市場が大きくなってくると、さらにその市場の一部の特定の顧客のニーズを埋めるために特化した製品が**つくられる**。このような**カスタマイズ**を行うビジネスは、年間の売上が5000万ドル程度の中規模企業に成長することを可能にするものである。しかし、カスタマイズした技術では企業は中規模企業以上に成長することはほとんどない。」

スピニアウトを支える制度

- 研究資金の提供

- SBIR/STTR

- 1982-2010の間に240社の半導体レーザーのスタートアップがSBIR/STTRからの資金を得る

- DARPAの研究資金とベンチャー・キャピタル

- 1984年のスターウォーズ計画と呼ばれる戦略防衛構想（SDI : Strategic Defense Initiatives）

- 1993年の全国情報スーパーハイウェイ構想

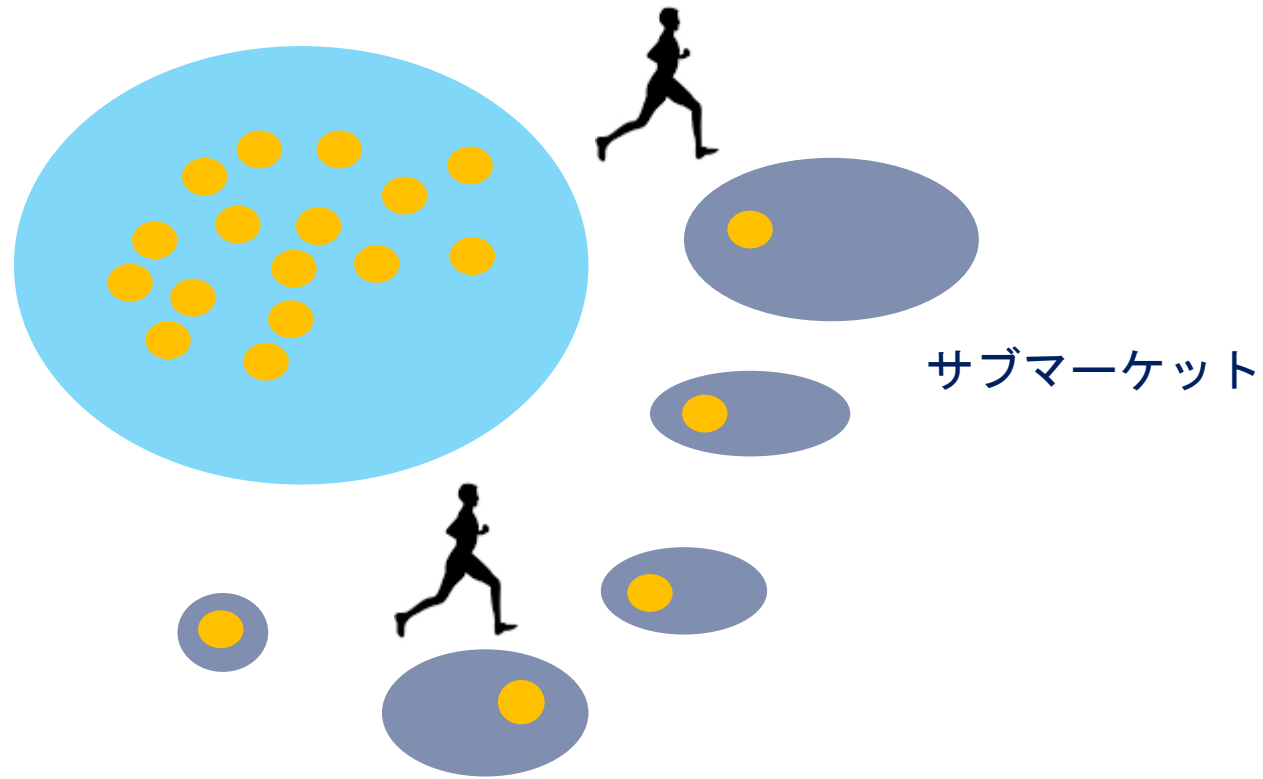
- 「資金を提供するベンチャー・キャピタルを見つけるのはそれほど大変ではなかった」（グレッグ・オルセン）

- 労働市場の流動性

- 再就職の条件（Reemployment Conditions）

		アメリカの組織の発明者	日本の組織の発明者
発明者数		100	90
平均譲渡人の数		2.47	1.1
譲渡人の数の分散		1.63	0.11
譲渡人数の中央値		2	1
譲渡人数の最大値		7	3
移動していない発明者の割合		25.74	82.83
移動していない発明者の内訳			
既存企業		14	82
スタートアップ		8	0
大学・研究機関		4	0
移動している発明者の移動の内訳			
元の組織	移動先		
既存企業	既存企業	13	5
	スタートアップ	41	1
	大学・研究機関	10	1
スタートアップ	既存企業	5	0
	スタートアップ	52	0
	大学・研究機関	3	0
大学・研究機関	既存企業	3	0
	スタートアップ	15	0
	大学・研究機関	5	2

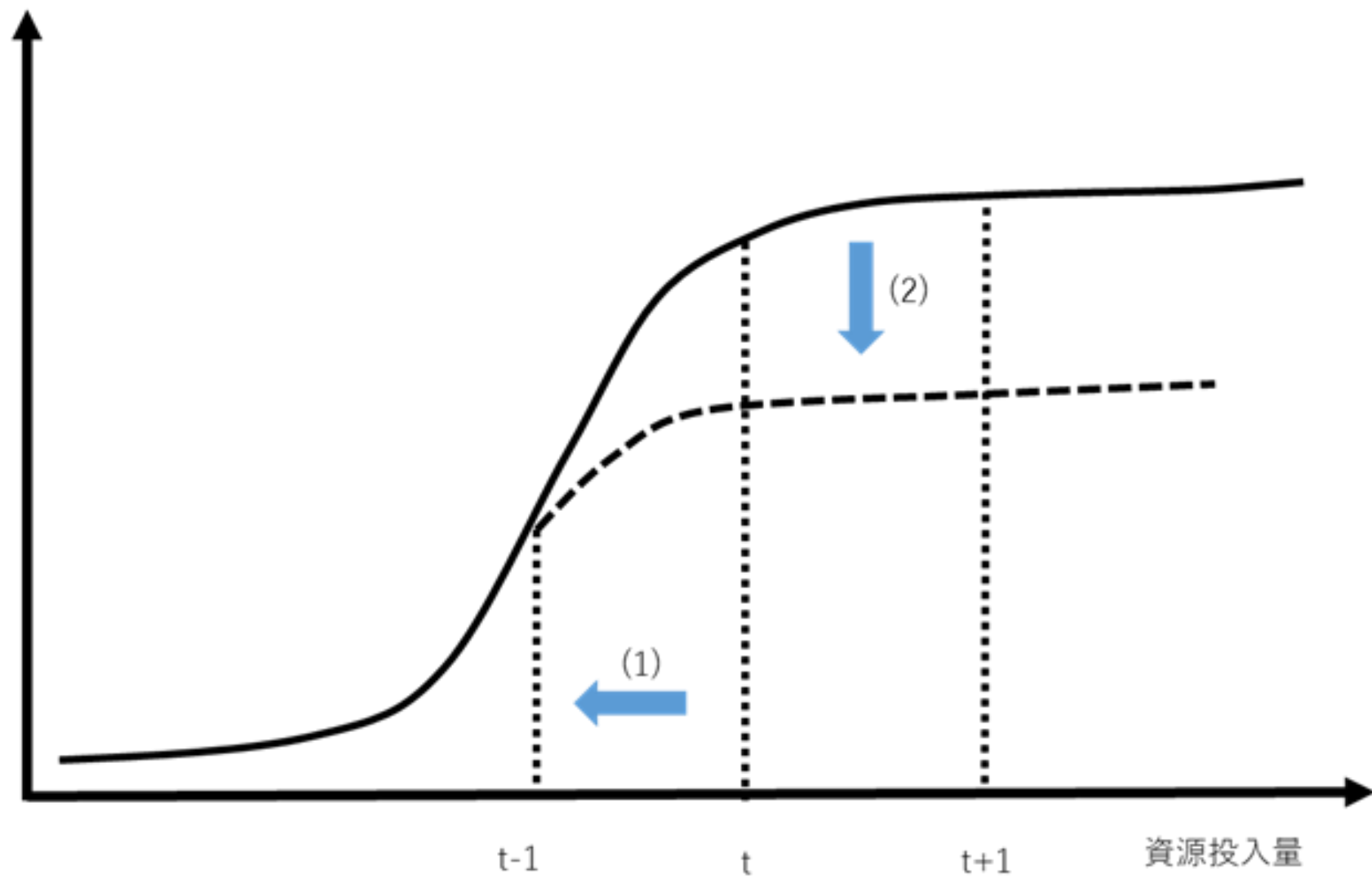
サブマーケットを巡るスピニアウト競争



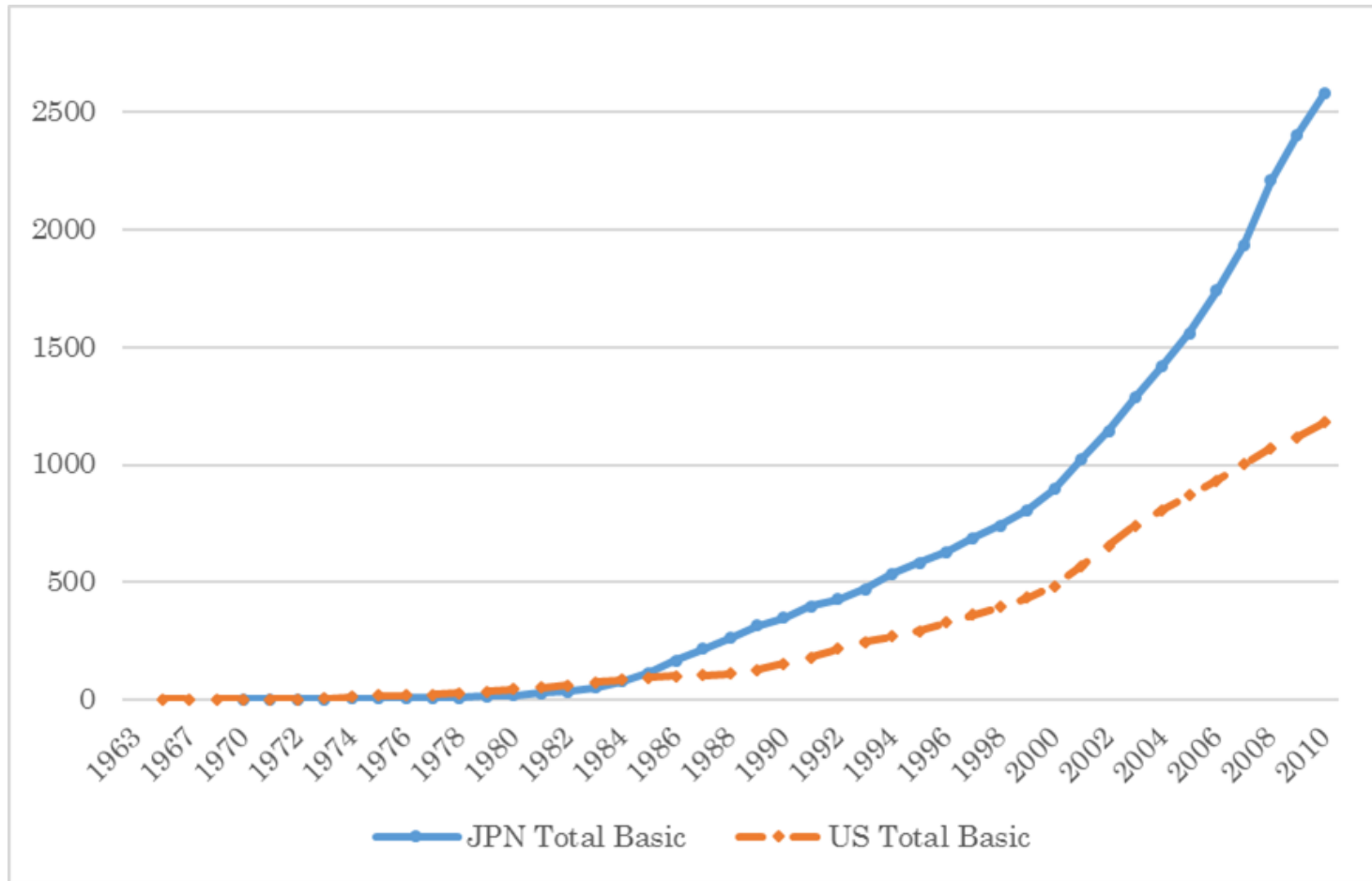
既存市場へ資源が集中した日本

- 既存市場にとどまる
 - 成長する既存市場（光通信・光情報記録）をターゲット
 - 長期間、同じ領域で競争
 - スタートアップ不在
 - 優秀な研究者が、長期間、同じ領域で競争
- 既存の技術の軌道上でのイノベーションが増加
 - 利益率は継続的に低下

技術的成果

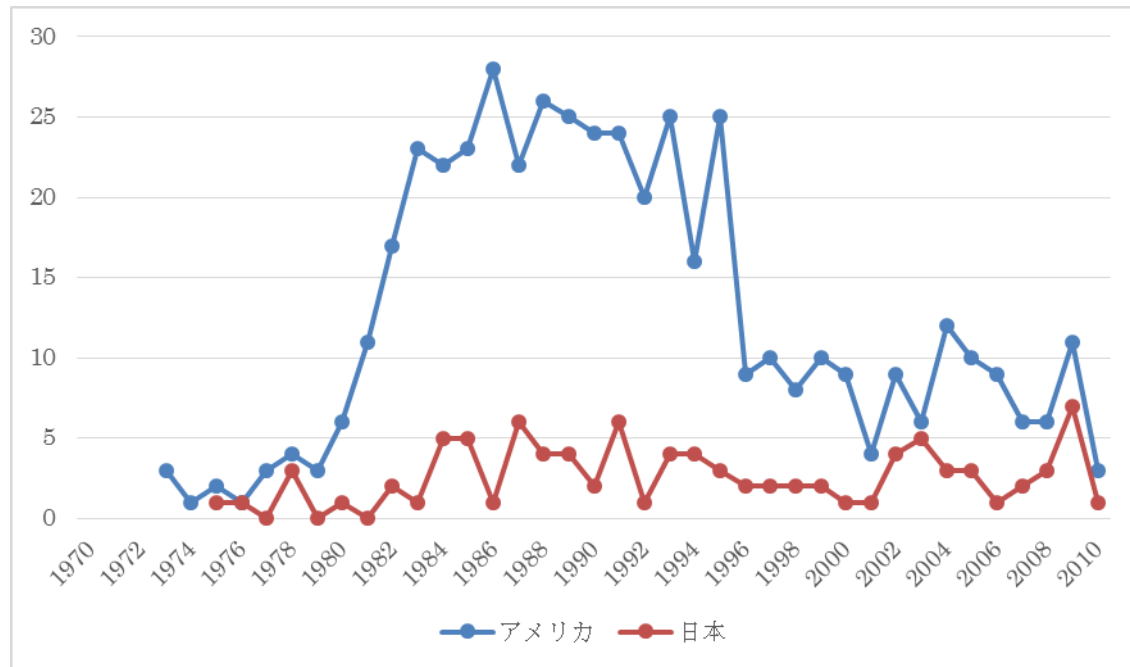


半導体レーザーでの基礎的な技術の開発の推移



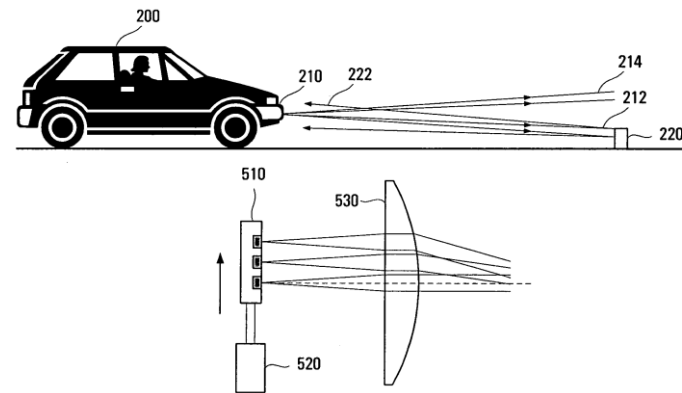
典型的なサブマーケット

- ハイパワーレーザー



日本生まれのVCSELもアメリカで事業化

- VCSEL（面発光レーザー）
 - 東京工業大学の伊賀先生がオリジナル
 - しかし、アメリカのスピンアウト企業が中心に事業化
 - 最初は、大きな市場はないと考えられていたが



スタートアップとイノベーション

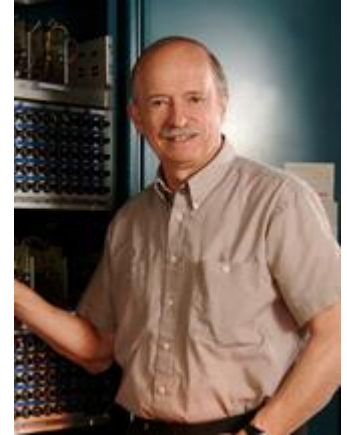
- スタートアップを促進する制度を整えると
 - サブマーケットに研究開発資源が拡散する
 - イノベーションは、既存の技術の軌道上 (On-Trajectory) から、軌道の外 (Off-Trajectory) に
 - 産業の転換は早くなる
 - 富士フイルムVSコダック? : 組織での調整と市場での調整
 - ジェネラル・パーパス・テクノロジーにとって重要な累積的な技術開発が遅くなる

労働市場の流動性と技術の継続性

- 長期的な日本？
 - 企業のマネジメント次第
 - 固定費が大きいと、小さいが利益率の高い市場を狙いにくい構造
- 三菱電機の須崎渉のケース
 - 1960年代から半導体レーザーの研究開発を始める
 - 室温連続発振をRCAやベル研究所と競っていたが、1960年代後半に三菱電機はその研究開発を中止
 - その結果、ベル研究所が最初に室温連続発振を達成
 - 1995年に大阪電気通信大学に
- 2000年以降、日本企業の多くで半導体レーザーの事業を縮小
 - 多くの優秀な研究者の技術が活かされない

労働市場の流動性と技術の継続性

- 短期的なアメリカ？
- Peter Zoryのケース
 - 1964年：Ph.D（カーネギーメロン）
 - 1964-1968年：スペリーランドにおいてアルゴンレーザー
 - 1968-1978年：IBMで半導体レーザー
 - 1978：Optical Information Systems（Exxonによるベンチャー）で半導体レーザー
 - 1983-1986年：McDonnell Douglasで半導体レーザー
 - 1986-1988年：GEで半導体レーザー
 - 1988年～：University of Floridaで半導体レーザー
- それぞれのマーケットは異なるが、半導体レーザーの研究開発を一貫して行う



スピナウトされた既存企業はどうなっているのか？

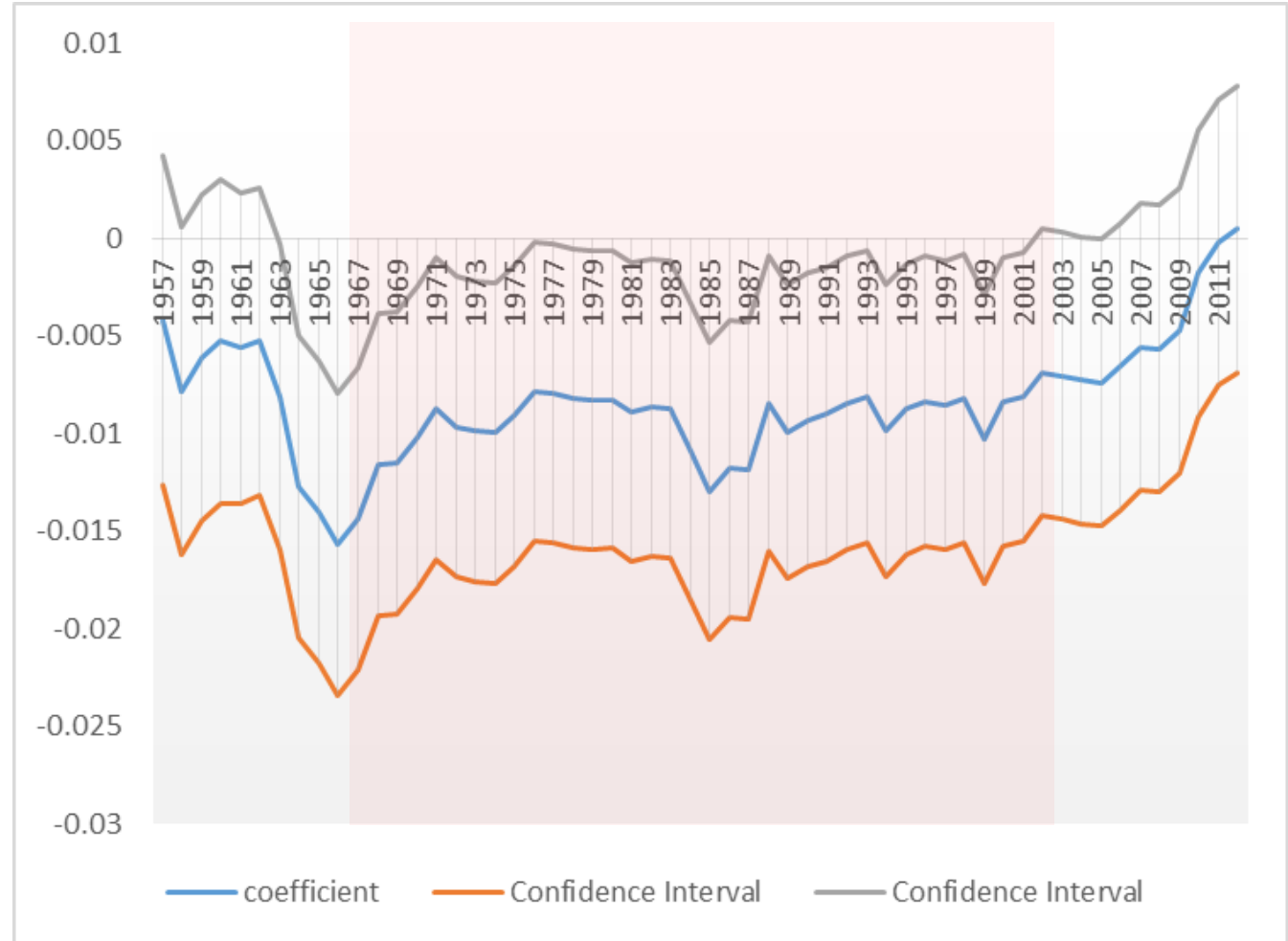
日米企業の自己変革とイノベーション

素朴な疑問

- なぜ、日本企業は15歳を超えると収益性がコンスタントに低下するのに、アメリカ企業は収益性の低下が見られないのだろうか？
- いくつかの考えられる理由
 - 淘汰の違い
 - リスクテイクの違い
 - 流動性の違い

加齢とROA volatility (日本)

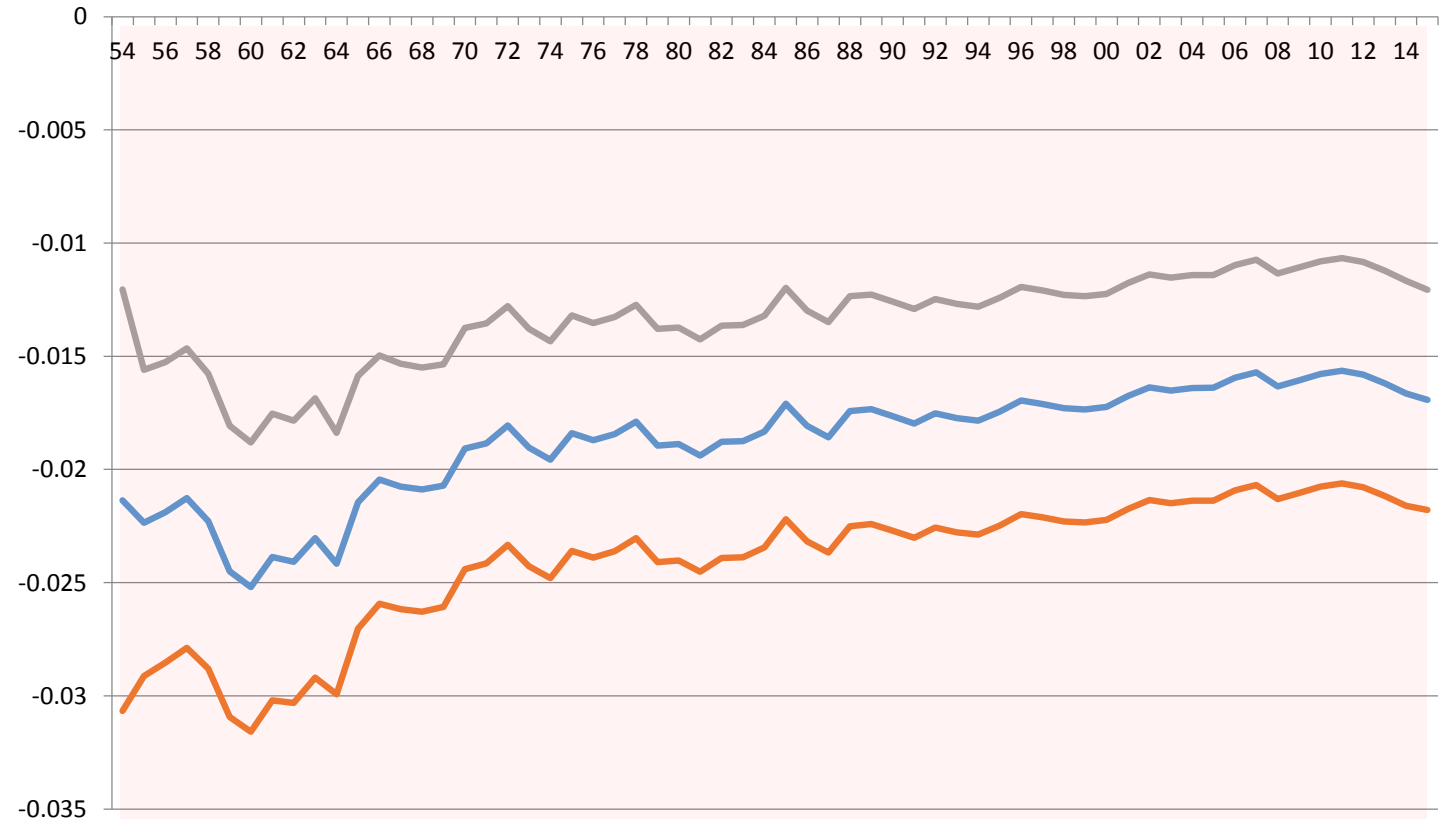
- 1963年～2002年
 - 企業の年齢がネガティブに影響している
 - 1年でおおよそ1%のボラティリティの低下
 - 毎年1%ボラティリティが低下すると、40歳の頃にはおおよそ33%低下したことに
- 1963年以前と2002年以降は企業の年齢の影響は統計的には有意になっていない



加齢とROA volatility (米国)

- 1954年～2015年

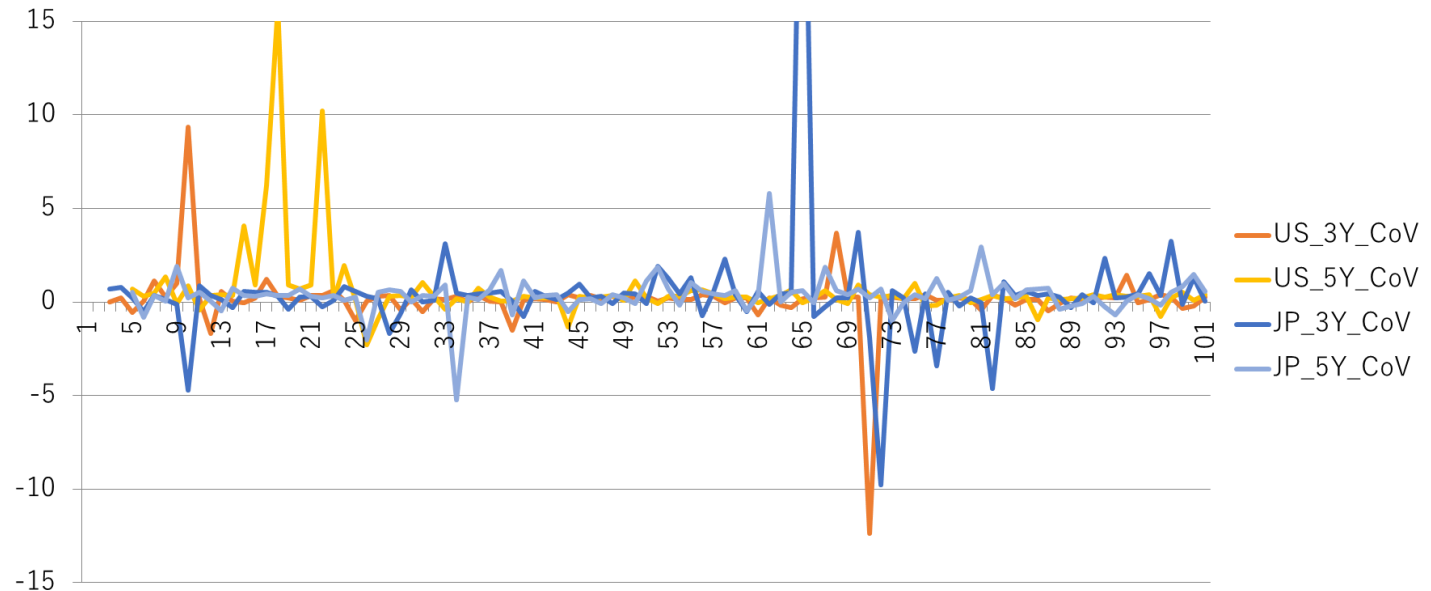
- 一貫して有意にマイナス
- 1年歳をとると、およそ2%のボラティリティの低下
- 齢をとることのインパクトは日本よりも米国の方が大きい(日本と比べ2倍のインパクト)
- 50～53年はomitted



変動係数で見してみる

- ボラティリティはROAの水準に依存する
 - 変動係数（平均ROAで割り引く）でチェック
 - 変動係数に日米の企業に大きな差はない
- リスクテイクの差というよりも、ROAの水準の差

- Coefficient of Variation = (pre-3 or 5 year) ROA volatility / (pre-3 or 5 year) average ROA



- Risk-taking behavior is not correlated with firms' age, if they are weighted by the level of ROA.

なぜ、ROAの水準が違うのか 流動性の違い（自己変革のしやすさ）

- 経営資源の流動性
 - 流動性が高ければ...
 - 生産性の低いからの撤退
生産性の高い（高くなることが予想される）事業への転換
- アメリカ
 - 経営資源の流動性が高く、不採算事業を手放したり、見込みのある事業を買うことが比較的容易 =事業に粘着性がない
 - 自己変革がしやすい
- 日本
 - 経営資源の流動性が低く、一旦ある事業に投資を行うと、採算が悪化しても手放すことが難しい =事業に粘着性がある
 - 資源（ヒトやモノ）が一度ある事業にくっつくと離れない

研究開発がどれだけ粘着質なのか

- 現在の研究開発は、どれだけ過去に依存しているのか
 - 自己回帰（AR）モデル
 - ラグ付きの自己変数による重回帰分析

$$HHI_{it} = \beta_1 HHI_{it-1} + \beta_2 HHI_{it-2} + \dots + \beta_p HHI_{it-p} + u_t$$

- 過去の自己変数が現在の変数をどの程度説明するか（どの程度過去に依存しているか）
- VARモデル（ベクトル自己回帰モデル）によって、ラグ付きの別の変数によって説明することも可能

日本企業の研究開発の集中度

- 日本企業の見せかけの選択と集中？
 - 単体レベルで見ると、日本企業は研究開発を集約化してきている
 - しかし、連結レベルで見ると、集約化できていないどころか、拡散している
- 高度経済成長期の日本は、“長期的志向にもとづく研究開発をしている”と言われてきた
 - 日本企業は長期的な視点をもっていたから、短期的な事業の再編を行わないのではなく、経営資源の流動性が低かったため、短期的な事業の再編を行えなかった
 - 流動性が低くなったのは、戦間期の歴史的な「偶然」

それでは、アメリカは？

- DuPontの事例
 - 1802年に設立
 - 黒色火薬が最初のビジネス
 - ダイナマイトなどへ多角化
 - 多角化
 - 合成ゴムや合成繊維事業、総合化学へ
 - 石油や医薬品事業へ
 - 石油、ナイロンや医薬品事業などからは撤退



しかし

- グループ経営という側面を特定するのが難しい
 - 特許データは数多くの実証研究に用いられているが、基本的に単体ベース
 - 特許を連結のデータにする必要がある
 - 米国において、複数企業（クロスセクションorパネル）について連結レベルの特許を集計したものはほとんどない
 - 特許の譲受人データでは、個別企業（単体）の情報しか取得できない
 - 子会社情報を時系列に観察するのが容易でない

⇒Moody's Industrial Manual(1920-1998)&Mergent Industrial Manual(1999-)のSubsidiary情報を活用

- 結果はこれから（おそらく2018年の春には）