

技術的トラジェクトリの破断*

経営学輪講 Christensen and Bower (1996)

Christensen, C. M., & Bower, J. L. (1996).

Customer power, strategic investment, and the failure of leading firms.

Strategic Management Journal, 17, 197-218.

高橋 伸夫[†]・新宅 純二郎[‡]・大川 洋史[§]

(1) トラジェクトリ持続的な技術革新

Nelson and Winter (1977) が技術的進歩の方向性を指して自然なトラジェクトリ¹ (natural trajectories) と呼んだのを受けて、Dosi (1982) は技術的トラジェクトリ (technological trajectory) の概念を導入した。この論文では、トラジェクトリ持続的 (trajectory-sustaining) な技術革新とトラジェクトリ破断的 (trajectory-disrupting または trajectory-disruptive) な技術革新を区別している。

そもそも技術的トラジェクトリとは、Dosi (1982, p. 152) によれば、ある技術的パラダ

* この経営学輪講は Christensen and Bower (1996) の解説と評論を高橋・新宅・大川が行ったものです。当該論文の忠実な要約ではありませんのでご注意ください。グラフも高橋・新宅・大川が解説のために描いたものです。したがって、本稿を引用される場合には、「高橋・新宅・大川 (2007) によれば、Christensen and Bower (1996) は.....。」あるいは「Christensen and Bower (1996) は..... (高橋, 新宅, 大川, 2007)。」のように明記されることを推奨いたします。

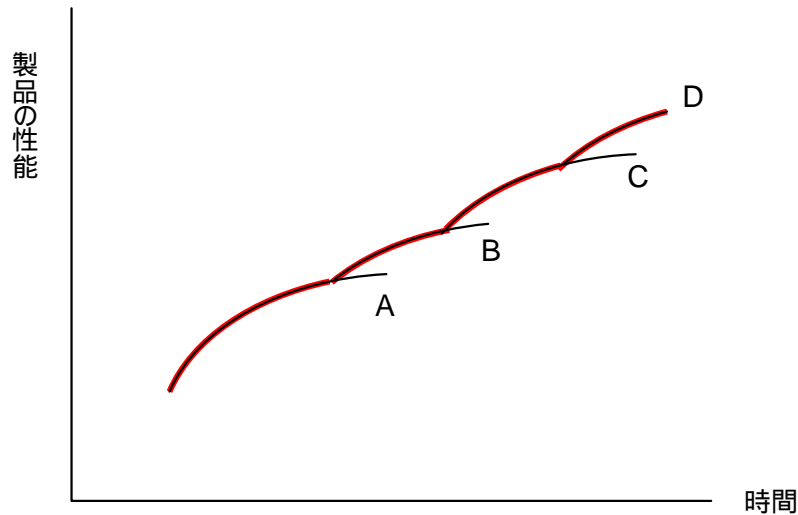
[†] 東京大学大学院経済学研究科 nobuta@e.u-tokyo.ac.jp

[‡] 東京大学大学院経済学研究科 shintaku@e.u-tokyo.ac.jp

[§] 東京大学大学院経済学研究科 innerdive@myb.biglobe.ne.jp

¹ トラジェクトリ (trajectory) とは、弾丸や砲弾などの弾道、ロケットやミサイルなどの飛跡の意味。弾丸や砲弾の弾道だと単純な放物線になってしまうが、巡航ミサイルの飛跡の場合には、かなり複雑なトラジェクトリでも考えることができる。ちなみに、Nelson and Winter (1977) の場合は trajectories と複数形で用いていたが、Dosi (1982) 以降は trajectory と単数形で用いる。

図1 トラジェクトリ持続的な技術革新（赤色の部分）



イム上での通常の問題解決活動の（すなわち、進歩（progress）の）パターンである。それは連続（continuity）であって漸進的技術革新（incremental innovation）である。たとえば、この論文で取り上げられているディスク・ドライブの例でいえば、14 インチ・ディスク・ドライブでdisk-packドライブからWinchesterドライブへの技術的变化はトラジェクトリ持続的であった（Figure 1）。すなわち、図 1 でいえば、² 技術Aから技術Bへと技術的变化をするように。

より一般的にいえば、技術 A はある程度成熟すると性能向上のスピードが落ちてくるので、新技術 B へと乗り換えられていく。同様に技術 B から技術 C へ、技術 C から技術 D へと次々と技術は乗り換えられていく。こうして、図 1 の赤い曲線部分のような連続した技術的トラジェクトリが出現することになる。これがトラジェクトリ持続的な技術革新である。

(2) トラジェクトリの破断

それと対比して、Dosi (1982) は、不連続（discontinuity）でラディカルな技術革新（radical innovation）による異常なブレークスルー（extraordinary breakthrough） 明らか

² 図 1 と類似の図が、Christensen (1997) では Figure 2.5 として登場する。

図2 技術的トラジェクトリの破断

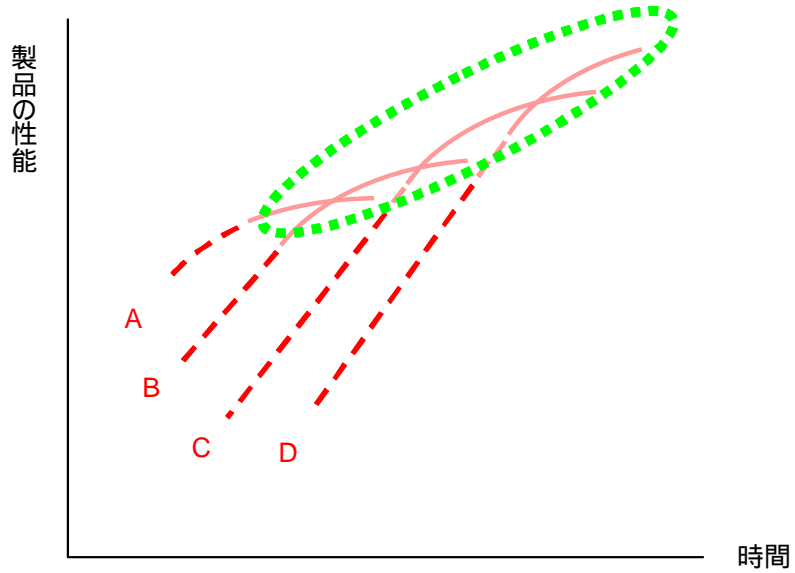
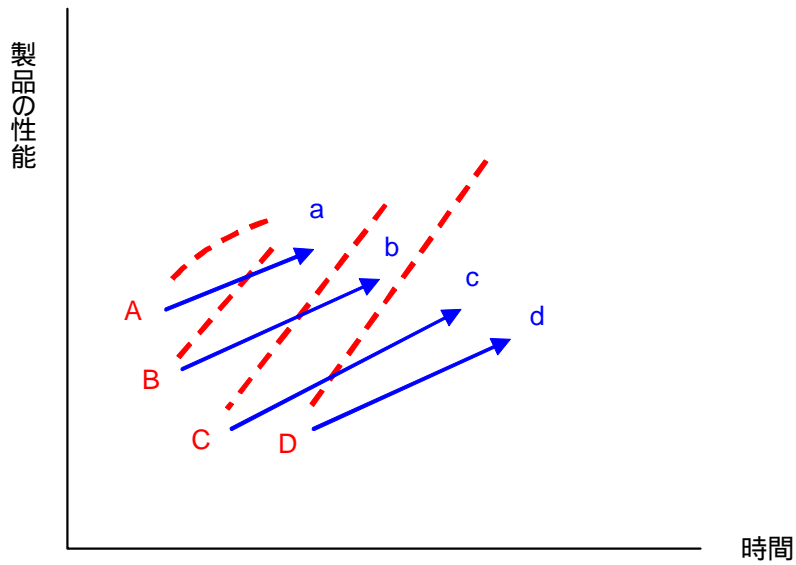


図3 要求水準（青い実線）より急向上していた性能（赤い点線）



出所) Christensen and Bower (1996) の Figure 2 を簡略化したもの

に上方不連続で良い意味での技術的飛躍も想定していたのだが、この論文では、逆の下方不連続、つまり、それまでの技術的トラジェクトリが途切れ、そこから明らかに劣っ

た性能的には下の技術へと落ちる技術的トラジェクトリを考える。それがディスク・ドライブでいえば、図 2 のように、(A) 14 インチ (B) 8 インチ (C) 5.25 インチ (D) 3.5 インチという技術的变化で、製品の性能をハード・ディスクの記録容量で測れば、明らかに下方にトラジェクトリが破断していたのである (Figure 2)。

通常であれば、14 インチ・ドライブにおける disk-pack Winchester の技術的变化のように (Figure 2)、それまでの既存技術 (disk-pack のこと) に対して連続なレベル、もしくは不連続であってもより進歩したレベルにまで新しい技術 (Winchester のこと) の性能が向上していれば (したがって、Dosi (1982) のいう連続のケースも不連続のケース (上方互換) も含んでいる) 市場はそれを受け入れ、この論文でいうところのトラジェクトリ持続的となるはずである。そうでなければ、市場で売れるはずがない。

ところが、ディスク・ドライブ市場では、性能的には劣ったオモチャのような製品が、既存市場ではなく、別の大きな市場を獲得して売れてしまうのである。すなわち、(A) 14 インチが (a) メインフレーム・コンピュータを市場としていたのに対して、(B) 8 インチは (b) ミニコンピュータの市場を、(C) 5.25 インチは (c) デスクトップ PC の市場を、さらに (D) 3.5 インチは (d) ポータブル PC の市場をすぐに獲得して売ってしまった。そのため、技術的トラジェクトリは途切れ、複数のトラジェクトリが並存して形をとどめることになったのである。

それでは、なぜ図 2 の緑色の点線の枠で囲んだ部分 (図 1 の赤色の部分に相当する) が現れなかった (=実現しなかった) のであろうか。それは、図 3 で示すように、要求水準 (青い実線) よりも、性能 (赤い点線) の方が急勾配で向上したために、

- (a) メインフレーム・コンピュータ : (A) 14 インチ (B) 8 インチ
- (b) ミニコンピュータ : (B) 8 インチ (C) 5.25 インチ
- (c) デスクトップ PC : (C) 5.25 インチ (D) 3.5 インチ

と下位のディスク・ドライブに取って代わられていくことになったからである。そのため図 2 の緑色の点線の枠で囲んだ部分まで到達することはなかった。実際、回帰分析によって求めた結果、図 3 同様に、性能 (赤い点線) の方が要求水準 (青い実線) よりも約 2 倍の傾きの急勾配で向上していたという。

(3) 技術的トラジェクトリは転載されたものか？

こうして、ハード・ディスク・ドライブに関して、読者に対してインパクトのある技術的トラジェクトリを描いているこの論文 Christensen and Bower (1996) の 3 枚のグラフ Figure 1 左・Figure 1 右・Figure 2 は、もともと Christensen (1993) の Figure 4 上・Figure 4 下・Figure 5 が転載された (reprinted) ものと表記されている。同様に、ベストセラーとなった著書 Christensen (1997) にも Figure 1.4・Figure 1.5・Figure 1.7 として転載され、そのように明記されている。通常、転載された図表の場合、その信憑性や真偽のほどは元の論文 (この場合は Christensen (1993)) に依拠しており、再度、吟味されることはない。ところが「転載」と書いてあるにもかかわらず、これらのグラフは見た目からしても、次のように、同じものではない。³

Christensen (1993) の Figure 4 上・下では、プロットされた点と近似曲線が描かれていたが、この論文 Christensen and Bower (1996) の Figure 1 左・右ではプロットされた点を線で結んだ折れ線グラフになっている。Christensen (1997) の Figure 1.4・Figure 1.5 も同様である。

Christensen (1993) の Figure 4 上のグラフは oxide disks and ferrite heads と thin-film disks and heads の 2 本のトラジェクトリを描いている。このグラフの縦軸は線記録密度⁴を表して、0.1 から 10 までの対数軸だが、Christensen and Bower (1996) の Figure 1 左のグラフの縦軸は 1 から 100 までの対数軸になっている。Christensen (1997) の Figure 1.4 も同様である。にもかかわらず、両者のプロットされた点の位置は同じなので、線記録密度が 10 倍になってしまっている。どちらかのグラフが間違いである。

以上の相違点の他にもデータの一部欠落や付加、齟齬などもあり、⁵ 「転載」というに

³ 対照的に、転載であるとは記されていないが、Christensen (1993) の Figure 4 下と Figure 5 と全く同じグラフが、Christensen and Rosenbloom (1995) の Figure 5 と Figure 4 として掲載されている。

⁴ Christensen (1993) の Figure 4 上では “areal density (MB/inch)” と表記され、Christensen and Bower (1996) の Figure 1 左では “areal recording density” と表記されている。

⁵ まず、Christensen (1993) の Figure 4 上のグラフにはあった oxide disks and ferrite heads の 1990 年のデータ (点) が、この Christensen and Bower (1996) の Figure 1 左からは消えている。Christensen (1997) の Figure 1.4 は、この 1990 年のデータが復活した Christensen and Bower (1996) の Figure 1 左に、3 本目の magneto-resistive heads (1992-95 年) のトラジェクトリを加えたもので、thin-film disks and heads のトラジェクトリも 1991-95 年のデータを加えて延伸している。さらに、Winchester と disk-pack の 2 本のトラジェクトリを描いた Christensen (1993) の Figure 4 下と Christensen and Bower (1996) の Figure 1 右のグラフを比べると、後者では Winchester の

はかなりずさんな印象を受けるが、これらはまだ単純なミスなのかもしれない。それに対して、単純なミスでは片付けられないのが、Christensen and Bower (1996) のFigure 2 (及び Christensen (1993) のFigure 5) の 14 インチ・ドライブのトラジェクトリの形状である。Christensen (1993) の脚注 27 (p. 561) とこの論文のAppendix 2 によれば、Figure 2 の実線と点線 (本稿の図 3 の実線と点線に対応) は次のように求められている。

- (a) 実線 (solid line) は、各年の各カテゴリ (メインフレーム、ミニコンピュータ、デスクトップ PC、ポータブル PC) で出荷価格がメディアンのコンピュータのハード・ディスク容量の回帰直線を表している。それに対して
- (b) 点線 (dotted line) は、各年の各カテゴリ (14 インチ、8 インチ、5.25 インチ、3.5 インチ) で売り出されたすべてのディスク・ドライブの加重なし算術平均の回帰直線を表している。

つまり、トラジェクトリは回帰「直線」のはずである。にもかかわらず、14 インチ・ドライブのトラジェクトリは、Christensen (1993) の Figure 5 でもこの Christensen and Bower (1996) の Figure 2 でも、1984 年頃から勾配が緩やかになる下に凹の曲線として描かれていて、直線になっていないのである。そして、Christensen (1997) の Figure 1.7 では、Christensen (1993) の Figure 5 の再掲と明記されているにもかかわらず、14 インチ・ドライブのトラジェクトリは、勾配が緩やかになって曲がり始める 1984 年までで打ち切れ、直線になっている。これは単純なミスではないし、変更には何か作為を感じさせる。

(4) 技術的トラジェクトリは破断していたのか?

ところで、Christensen (1997) では価値ネットワークの分析と一緒に扱われているために、邦訳書のように価値ネットワークを破壊するという意味を重ねて “disruptive” を「破

1981 年の点が消え、disk-pack は 1980 年代のデータが変わっている。Christensen (1997) の Figure 1.5 は Christensen and Bower (1996) の Figure 1 右の Winchester のトラジェクトリに 1984 年のデータを加えて延伸したものになっている。そして、本稿の図 3 の元になっている Christensen and Bower (1996) の Figure 2 には、Christensen (1993) の Figure 5 にはなかった 1974 年と 1975 年のデータが付加されており、14 インチ・ドライブのトラジェクトリがその 2 年分過去まで延びている。また、Christensen (1993) の Figure 5 にはあった “E Notebook PCs” の要求水準の直線 (1989 年と 1990 年の 2 点を結んだもの) は、Christensen and Bower (1996) の Figure 2 では一旦消えたが、Christensen (1997) の Figure 1.7 では復活し、それに対応して 2.5 インチ・ドライブのトラジェクトリも描き加えられている。

壊的」と訳すこともありうるという印象を与えることになった。しかし論文レベルでは、価値ネットワークの話は Christensen and Rosenbloom (1995) では扱われていても、この論文では扱われていない。しかも、正確には“trajectory-disruptive”とトラジェクトリ (trajectory) とつなげて用いられる。すなわち、“disruptive”には「破壊的」などという意味はもともとないのであって、あくまでもトラジェクトリが連続して「持続的」なのではなく、途切れて「破断的」であるとトラジェクトリの形状を形容しているだけなのである。

実は、米国では、このトラジェクトリ破断的な技術革新があった際に、各市場セグメントのリーダー企業まで取って代わられるという現象が見られた。この論文の後半では、その個別事情・理由が述べられているが、一般化するには距離感がある。実際、日本ではそうした現象は起きなかったので、必然であるかのごとくの説明の仕方には違和感と疑問がある。技術的トラジェクトリの破断と価値ネットワークの破壊を短絡的に結びつけて考えることは要注意である。

しかし、果たして本当に技術的トラジェクトリは破断していたのだろうか。実は、14 インチ・ドライブにおける disk-pack Winchester の技術的トラジェクトリを描いたこの論文の Figure 1 右 (Christensen (1993) の Figure 4 下) のグラフの縦軸の単位は 1 平方インチ当りの面記録密度⁶ である。それに対して、14 インチ、8 インチ、5.25 インチ、3.5 インチのディスク・ドライブの技術的トラジェクトリを描いた Figure 2 (Christensen (1993) の Figure 5) のグラフの縦軸はハード・ディスクとしての記憶容量 (hard disk capacity) である。仮に Figure 2 の縦軸を Figure 1 右の縦軸と同じ面記録密度にそろえただけでも、記憶容量で見た場合と比べて、破断の程度はかなり小さくなるはずである。円の面積は、直径の二乗に比例するので、14 インチ・ディスク・ドライブの面積を 100 とすると、単純に考えれば 8 インチは 33、5.25 インチは 14、3.5 インチは 6 の面積しかないからである。

さらに、コンピュータの「大きさ」の小型化という流れを踏まえて、より現実的に、面記録密度ではなく、ある種の体積記録密度のようなものを考えることにすれば、破断の程度はさらにずっと小さくなるはずである。単純に「記憶容量 / 装置体積」を体積記録密度として考えても、装置の体積は直径の三乗に比例するとすれば⁷、14 インチの装置の体積

⁶ この論文 Christensen and Bower (1996) の Figure 1 右も Christensen (1993) の Figure 4 下も縦軸は“areal density (millions of bits/square inch)”と表記されていて、面記録密度である。ハード・ディスク・ドライブについては、面記録密度 = 線記録密度 × トラック記録密度で計算される。トラック記録密度とは幅当り (たとえば 1 インチ当り) のトラックの本数のこと。

⁷ 実際には、これほど単純ではない。ハード・ディスク・ドライブの装置は一般的に直方体といていいが、その底面積はディスクの直径の二乗にほぼ比例するが、高さ (厚さ) はディスクの直

を 100 とすると、8 インチは 18.7、5.25 インチは 5.3、3.5 インチは 1.6 しかないからである。

要するに、縦軸の測り方によって、技術的トラジェクトリの破断/持続の見え方が変わってくるのである。少なくとも、本来の技術的トラジェクトリを描くという目的からすれば、Figure 2 の縦軸としては、記憶容量よりは体積記録密度の方が性能の尺度としてはふさわしい。おそらく、ハード・ディスク・ドライブの記憶容量を対重量あるいは対消費電力などで補正して縦軸を工夫すれば、⁸ 14 インチ、8 インチ、5.25 インチ、3.5 インチのハード・ディスク・ドライブの技術的トラジェクトリが、破断してしまわずに、持続しているように見える可能性があるのではないだろうか。それこそが、ハード・ディスク・ドライブの技術的トラジェクトリを描くためにふさわしい性能の尺度だと考えるべきである。ひょっとすると、この論文は、そうした技術革新を説明するにふさわしい適切な性能の尺度を見出す前に、結論を出してしまったのかもしれない。

参考文献

- Christensen, C. M. (1993). The rigid disk drive industry: A history of commercial and technological turbulence. *Business History Review*, 67, 531-588.
- Christensen, C. M. (1997). *The innovator's dilemma: When new technologies cause great firms to fail*. Boston: Harvard Business School Press. 邦訳, C・M・クリステンセン (2000) 『イノベーションのジレンマ 技術革新が巨大企業を滅ぼすとき』伊豆原 弓 訳. 翔泳社.
- Christensen, C. M., & Rosenbloom, R. S. (1995). Explaining the attacker's advantage: Technological paradigms, organizational dynamics, and the value network. *Research Policy*, 24, 233-257.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11, 147-162.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6, 36-76.

径に比例するわけではないからである。装置自体の高さはある時期からは標準化が進んで、3.5 インチ・ディスクではハーフハイト (41.3mm)、1 インチハイト (25.4mm)、2.5 インチ・ディスクでは 3/4 インチ、3/8 インチなど同じ直径のディスクでも何種類かの標準的な高さがあり、さらにディスクも 1 枚だけではなく数枚格納するようになっている。

⁸ 記憶容量以外にも、アクセス速度や安定性などの性能で縦軸を工夫する余地は残されている。

赤門マネジメント・レビュー編集委員会

編集長 新宅 純二郎

編集委員 阿部 誠 粕谷 誠 高橋 伸夫 藤本 隆宏

編集担当 西田 麻希

赤門マネジメント・レビュー 6巻7号 2007年7月25日発行

編集 東京大学大学院経済学研究科 ABAS/AMR 編集委員会

発行 特定非営利活動法人グローバルビジネスリサーチセンター

理事長 高橋 伸夫

東京都千代田区丸の内

<http://www.gbrc.jp>