

研究手法に関するメモ

鳥居 寛

approach2research@gmail.com

2009年2月4日 執筆開始
2009年9月14日 執筆完
2009年12月26日 校正・PDF化
2010年5月21日 校正
2011年1月26日 公開用
2020年3月17日 文書内リンク修正

Success is the ability to go from one failure to another
with no loss of enthusiasm.

Sir Winston Churchill

初めに

筆者は、2007年6月から2009年6月まで、カーネギーメロン大学（Carnegie Mellon University; CMU）のロボティクス研究所（Robotics Institute; RI）に派遣された。そこで、金出武雄教授に技術指導を受け、また研究手法に関して多くのことを学んだ。このメモには、派遣される前まで研究手法に関して学んできたこと、そしてCMUに派遣されて学んだことを併せて、書き留めておこうと思う。

このメモには、研究手法に関していくつかの提案に近いものを書いていく。ここに書かれたことを他の方々にゴリ押ししていくつもりは全くなく、どちらかというところのような考え方があるということを示すような形にしたい。ここに書かれた手法を実際に試してみたり、あるいはなぜこれではうまく行かないのか考えてみたり、思考や実験のきっかけとなれば幸いである。筆者自身も機会を捉えて、提案手法の適用を考えて徐々に改良していきたい。ここに取り上げる研究アプローチは、ソフトウェア分野の基礎研究に向けた手法である。そのため、ハードウェアや応用研究においては、具体的なアプローチを変えて実践する必要があるかも知れない。しかし、その場合でも、ここで解説する考え方は参考になるのではないかと思われる。

MOT (Management of Technology) と言って、経営者レベルの技術経営を説く書籍が巷に溢れている。しかし、課レベル・実務者レベルの研究開発手法を説く書籍は少ない印象がある。このメモがこの穴を埋めるものとなれば幸いである。

あらかじめ断っておきたいが、ここで提案されていることを全社的に統一的に適用することは、ここに書かれていることの趣旨に反する。その考え方については、最後に説明したい。

また、この文書はまだ作成途中であると言える。感想や批評など、読者からのフィードバックを心待ちにしている。下記のメール アドレスに送っていただければと願う。

approach2research@gmail.com

本文でも述べているが、人同士の交流によりアイデアは発展していくものと信じている。研究内容だけでなく、研究手法に関しても同じことが言えよう。

目次

初めに.....	1
目次.....	2
研究活動について.....	4
研究は難しい.....	4
仕事としての研究.....	6
リスクの高い職業としての研究.....	7
研究活動のマネジメント.....	8
技術の進化.....	10
生物の進化論.....	10
技術の進化論.....	11
共通点.....	11
相違点.....	12
技術の連続性.....	12
研究の手法.....	15
多様性の確保.....	15
技術の融合.....	15
1プロジェクト1人.....	16
更なる多様性.....	17
外部との接触.....	17
研究の連続性.....	18
技術の連続性.....	18
ステップの連続性.....	19
経験から学ぶ.....	20
研究は記憶だ.....	22
淘汰.....	22
効率の追求.....	23
効率と多様性の相反性.....	23
自主性の尊重.....	24
ゆとり.....	26
研究者の気質.....	28
オプティミズムと根気.....	28
負けず嫌い.....	29
凝り性.....	30

個人差.....	30
研究体制の一案.....	32
人材の確保.....	32
底上げよりも、開栓.....	33
勤務形態.....	36
最後に.....	37
参考文献.....	38

研究活動について

研究は難しい

研究の歴史を顧みると、一見相反する二つの教訓を得ることができる。

そのひとつは、「成功したのは、一所懸命努力したから」というものである。例えば、エディソンの次の言葉は極めて有名である：「天才は 1% のひらめきと 99% の汗 (Genius is one percent inspiration and 99 percent perspiration)。」発明ではアイデアを思い付くことが必要だが、そのアイデアを形にするためには多大な労力を必要とすることを強調した言葉である。研究所で発明された技術が、市場に出るまでの製品開発の過程を見れば、この言葉の真理が確認できる。

しかし、実はその逆の教えも存在する。多くの研究テーマが莫大な費用を食い潰して、最後に中止となる例が後を絶たない。筆者の記憶に最も残っているのは、衛星電話サービスのイリジウム(Iridium)である (Jarman, 2009)。これはモトローラ(Motorola)社が\$50 億以上かけて作り上げた人工衛星の一群であり、これに対応した携帯電話を持ち歩くことによって地球上どこにいても電話がかけられるという話であった。結局、会社は十分な数の顧客を獲得できずに 1999 年に破産した^[*1.1.1]。このような失敗から身を守るためには、投資しすぎる前に手を引くことが必要となる。しかし、これは努力を惜しむべきでないという先の教えと反するように見える。

この二つの教訓を研究しながら素直に実行しようとする、ジレンマに陥る。常に研究テーマに疑問を抱えながら、研究成果を出す努力をしなければならない。しかし、人間の心理はそう簡単には制御できない。疑問を抱えると言うことは、研究に没頭できないということであり、没頭しなければ最大限の能力を発揮することなどできない。

研究活動が難しいのは、研究プロジェクト開始時には、そのプロジェクトが成功するかどうかがよく分からないところにある^[*1.1.2]。目的とする技術が開発されたとしても、市場に出て成功するためには数多くの条件が揃わなければならない。それは、導入市場の文化であったり、従来技術との関係であったり、あるいは政治的な条件であったりする。他にも経済的な事象が影響したり、開発者とユーザの視点の不一致があったり、あるいは技術の良さが認識されるのに時間がかかりすぎたりすることもある (Berkun, 2007, p.115)。

下図は、研究プロジェクトの結果を模式的に表したものである。単純化して言えば、研究プロジェクトには成功するものと失敗するものがある。^[*1.1.3] この図を描くと、とても残念なことが分かってしまう。ほとんどのプロジェクトは、成功するかどうか始めた時点で分からないだけでなく、結果的にほとんどが失敗に終わる。その中で成功にたどり着くのはほんの一部だけである^[*1.1.4]。

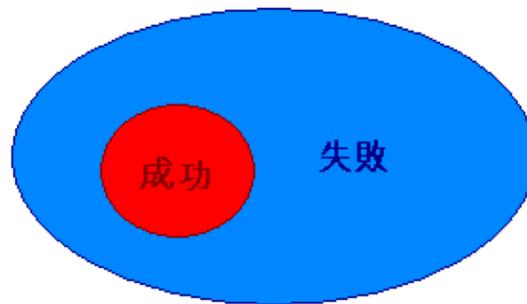


図 1.1 研究プロジェクトの成功と失敗

成功率だけから判断すると研究活動はかなりリスクの高いものとなる。たとえばパソコンメーカーの DELL は、研究費の見返りが割に合わないとして、研究活動をほとんどしないことで有名である ^[*1.1.5]。また、中央研究所不要論が話題になった時代もあった ([Rosenbloom,1996](#)^[*1.1.6])。

なぜ研究が難しいのか。様々な原因が考えられ、個々の技術の難しさを挙げる研究者も多いであろう。しかし、すべての分野に共通する原因がある。どのような作業を行えば、研究が成功するのかが分からないためだと言えるだろう。考えてみれば当然である。当たり前のことをするだけで開発が行えるのであれば、それは研究とは呼べないだろう。他の人が思い付かないようなことをしようというのが研究である。当たり前な研究手法を実践しているだけでは、当然のことながら競争には勝てない。自覚しているかどうかは別にして、当たり前な手法は当たり前のこととして実践しながら、個々の研究者・企業は自ら失敗するリスクを負いつつ、新たな手法を試しつつ行うのが、研究である ^{[*1.1.7][*1.1.8]}。

このメモでは、この問題に対して別の視点を提供する。まず、研究活動は企業が行うに値するかどうかという議論は別の書籍に譲ることとする。このメモは、研究所に所属する者が、研究が難しいということを知った上で、成功する確率を上げるための工夫について述べていくつもりである。

^[*1.1.1] 元の会社は\$2500万で新会社を買収され、ビジネス様式を変えて現在も営業を続けている。

^[*1.1.2] 「研究」と「開発」を区別しないで使うことが多いが、「研究プロジェクト」を「開始時にその成功・不成功の確からしさが少ないもの」、「開発プロジェクト」を「開始時にその成功の確からしが高いもの」と定義しても良いかも知れない。（「従来技術を利用してシステムを作成すること」を「開発」、「新規の技術を利用してシステムあるいはその要素を作成すること」を「研究」と定義することもできるが、組み合わせ方によっては従来技術を利用していても、プロジェクトの成功が読めないこともある。）

^[*1.1.3] 成功や失敗を厳密に定義しないプロジェクトが多いため、実際には「成功」や「失敗」のように結果がはっきり分かるわけではない。しかし、ここでは説明を分かりやすくするため、結果を2種類のみとした。

^[*1.1.4] NIH（米国国立衛生研究所）に研究予算を申請した際の通過率でさえ 2008 年度においては 21.8% であった。（[Success Rate - NIH Research Portfolio Online Reporting Tool \(RePORT\)](#)）

^[*1.1.5] ただし、DELL が全く研究をしていないというわけではなく、少ないながらも特許を取得している。標準技術で塗り固められたパソコンの利益率があまりに低く、研究費を捻出できな

いという解釈もできる。

^[*1.1.6] 邦題が紛らわしいが、この書籍自体は研究所が不要になったとは書いていない。研究所が時代に応じて変わらなければならないことを言っている。最近、この流れに沿って、オープンイノベーションや産学連携が重視されつつあるように思う。

^[*1.1.7] ここで、当たり前のことを実践するのが簡単だとは言わない。現状知られている当たり前の手法だけでは不十分であることもここで指摘しなければならない。極端な例を挙げれば、「売上げを伸ばす製品を開発するのではなく、(売上げ×利益率)を上げる製品を開発しなければならない」と言われても、何をしてよいかははっきりしない。

^[*1.1.8] 言うまでもないことだが、わざわざリスクの高いことをするのが研究ではない。もう少し厳密に書くと、他の会社が不確定性のためにぎりぎり手を出さない領域に手を出すのが企業の研究である。不確定性が低ければ低い方が理想的なのであるが、あまり低いと他の会社と競合することになってしまうので、ある程度の不確定を負わなければならない。研究のリスクには、チキンレースの側面がある。

仕事としての研究

Rosenbloom ら ([1996](#)) によれば、研究者が企業の被雇用者になるようになってから 100 年以上が経つ。米国における最初の企業研究所は、1876 年ペンシルバニア鉄道によって設立された。それまで発明というものは個人によるものであり、「博学で開明的な紳士の余技」であった。同年にエジソンも研究所を建てている。収入という観点から、これらの研究者の立場を見ると、個人発明家は大きな発明を当てれば莫大な富を手に入れる可能性もあったが、逆に負債だけが残ると言うこともあり得た。きわめてギャンブル色の高いものであった。それに対してサラリーマン研究者の登場は、研究職でありながら比較的安定した収入を確保する手段を提供した。このような制度がなければ、高い学費と長い年月を要する技術者の育成は困難であったであろう。逆に、無謀な行動によって大きな山を当てることよりも、正攻法の研究活動を地道に続けることが奨励される給与体系となっていることも指摘しなければならない。

一般の人が「研究」と聞いてイメージするものは、「ビジネスにつながるアイデアをひとつ思い付いたら、以降はそのアイデアをネタにしばらく、お金を稼ぐことができる」というものではないだろうか。アイデアを中心に考えれば、確かにそうなのかも知れないが、サラリーマン研究者を中心に考えると、そうではないことが分かる。もしそうだとしたら、サラリーマン研究者は、アイデアを創出するまでが仕事であり、アイデアを創出したらそこで仕事が終わってしまう^[*1.2.1]。研究者であり続ける場合には、常にアイデアを創出し続けなければならない。企業に雇われた研究者は、自分の時間を研究活動に当てて企業に奉仕する、サービス事業者であると言える。サラリーマン研究者は、ひとつだけのアイデアを生み出すだけでなく、次々とアイデアを安定して生み出す機械になることが暗に要求されている。

^[*1.2.1] 実際には、企業においては研究者が事業部に配置換えされ、そこで仕事を続けることも多い。そのため、研究が終わって仕事がなくなるわけではないが、研究者ではなくなる。

リスクの高い職業としての研究

サラリーマンとして雇われたとしても、研究を職業とするのは、リスクが高い。

事業部の開発者は、数年働き続ければ、ほとんどの人は製品の開発に携わり、何らかの形で会社に貢献することができる。

それに対して、研究者は何年働き続けても、何ら会社に貢献しないと言うことがあり得る。それどころか、研究費や人件費を使い続けるので、事業部の人間からはせつかくの稼ぎを無駄にしていると見られることもしばしばである。そのことを気にしない人間ならば、特に問題ないのであるが、

- 会社や社会に対して何らかの貢献がしたい
- 全く何も形に残さないままサラリーマン人生を終えたくない
- 一所懸命努力しているのに、遊んでいると言われたくない

と考えている会社員にとって、研究者であり続けることは必ずしも得策ではない^[*1.3.1]。

また、研究者ごとに能力の違いがあるとするならば、会社にとって結果を出さない研究者を社員として抱えるのは大きな負担となる。幸い 1980 年代のバブルまでの日本企業は終身雇用を採用しているところも多く、社員の教育は会社の義務であった。しかし、昨今の不況やこれからの国際的な競争を考えると、このような経営方針も維持しづらくなるものと予想される。このような状況では、研究者の教育は研究者自身の責任となり、それがそのまま研究者自身の将来に影響してくることになるであろう。

能力差による取捨選択がまだないとしても、企業が常に正しい戦略を採用し続けることは非常に困難である。今までの日本企業は米国企業の先例を真似れば良いところがあった。しかし、米国に追いついてきたと考えられる分野においては、そのようなロールモデルというものがなくなってしまった。多くの日本企業ではこれからの舵取りに迷いが見られ、ときおりその舵取りを修正せざるを得なくなってきた^[*1.3.2]。そして修正の際には組織ごとの整理が行われ、大量の解雇が発生する危険がある。このような状況は米国では、しばらく前から見られる現象である。しかもアメリカを先例として見ると、予算を縮小しなければならないような状況においては、開発部門よりもまず研究部門を縮小する傾向にある。日本においても同じ傾向になると予想するのが自然である。いずれこの現象は日本にも伝播してくるものと思われる。

研究活動の成功率が低いことと、企業の状況を見ると、研究者は成功すれば幸福であるが、研究者であり続けることを選ぶ人間は、人生をギャンブルにかけているようなものである。意外と認知されていないことであるが、研究者という職業はリスクが高い。

^[*1.3.1]成果主義の導入で、まるでサラリーマン研究者は給与目的に働いていると思込まされているところがある。しかし、何人もの研究者と話して分けるのは、収入の向上を第一目標としている研究者はわずかである。そもそも高い給与がを求めているのであれば、同じ技術力で他にも仕事がある。たとえば事業部の開発の方が少なくとも残業時間が長くて収入が高いことが多い。多くの研究者が研究者を続けるのには他に理由がある。

^[*1.3.2]国内企業の基礎研究所への対応などがこの例であろう。

研究活動のマネジメント

実務者として研究活動が難しいのは、誰しも想像が付くことであろうが、研究者を管理するというのも同じように大変な仕事である。特に昨今のトップダウンマネジメントの流れで、今の管理者は部下に細かい指導を行うことが求められるようになってきた。しかし、先にも述べたとおり、研究活動では研究者が何をすればよいのかははっきりしていない。研究者の活動がしっかりと定義されていないような状況では、管理者もどう指導すれば良いか分からないはずである。上からトップダウンマネジメントをしろという理想論を言われながら、現実を直視せざるを得ない今の中間管理職は、この歪みに直面し困窮されているであろうと察することができる。^[*1.4.1]

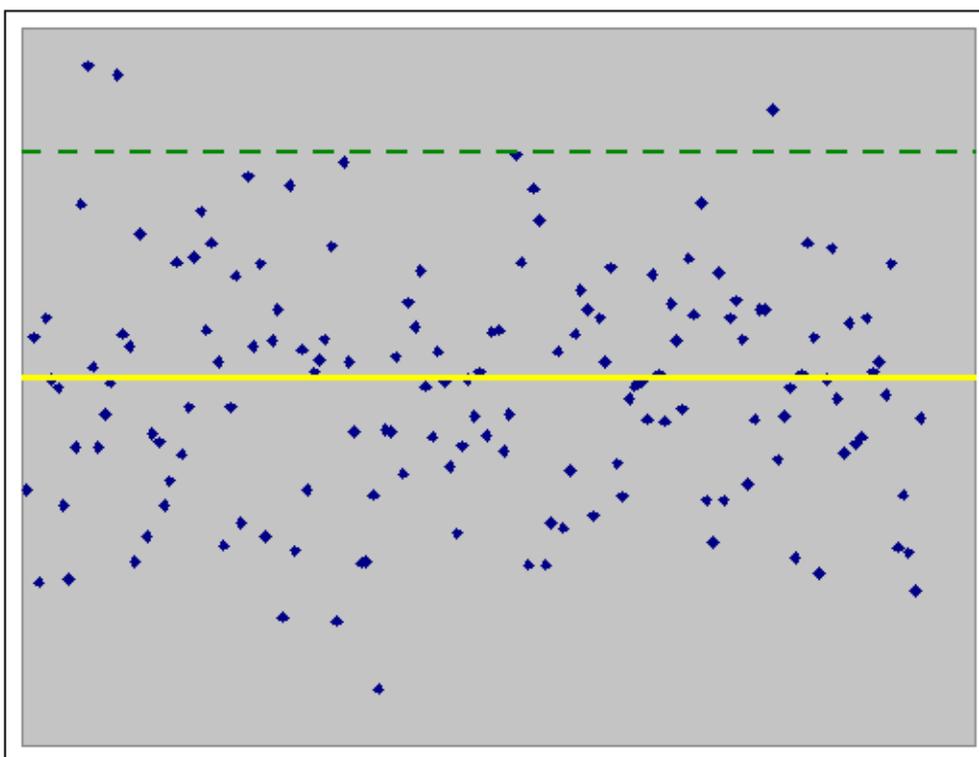


図 1.2 研究成果の模式図

研究成果を仮に模式的に表すとすると、上図のようになるかと思う。個々の点が研究成果であり、縦軸の高い位置にあるほど高い成果であるとしよう。ここで黄色の実線はこれら成果の平均点である。また、緑の破線は研究成果が成功であると見なせる境界線である。研究活動の難しさを反映して、この境界線は高い位置に描いてある。この図を見ると、成功するプロジェクトの数を増やす方法がいくつか考えられる。まず、成果が平均以下のプロジェクトのレベルを上げて、平均レベルに上げて成功率は全く変わらないことが分かる。ここで、成功率を上げるには、他の手段によらなければならない。下にいくつかの方法を書き並べる。

- 全体の平均成果を押し上げる
- より多くのプロジェクトを実施する
- 上位の成果を出している研究者の成果が出やすいようにする

- 平均をさげずにばらつきを広げる^[*1.4.2]

きわめて単純に思えるこれらの対策から導かれる具体策は、実は多い。

労使関係の歴史を見ていると、まるで使用者と労働者は対立する関係にあるかのように錯覚してしまう。しかし、研究成果を出すことを目指すのは双方の利益・幸福につながることである。ここは、双方協力し合い、成果の出る体制を作っていくことが必要である。このメモは残念ながら、そのための解をすべて提示するものではない。しかしそれでもいづれか方向性を示すことで、今後の中間管理職・実務研究者双方の問題を軽減することができればと思う。

^[*1.4.1] 研究所においてはパワー ハラスメントが比較的多いと言われているのはこのためであると思われる。結果を出さない部下がいれば、普通は指導すれば良いのであるが、指導法が確立されていない研究所では、上司のイライラするストレスはたまる一方である。その吐き出し口がハラスメントとなって現れると考えられる。

^[*1.4.2] より厳密に書くと、平均が下がる分以上にばらつきを広げる。

技術の進化

技術研究が生物の進化のように発展してきているという考え方がある ([Basalla, 1988](#))。一旦ここで、研究手法の話題から脱線して、進化論の基本について簡単に振り返ってみる。

生物の進化論

言うまでもなく、進化論はダーウィン ([Charles Darwin](#)^[*2.1.1]) らによって広められた、生物の発達を説明するための考え方である。それまでは、キリスト教の創世記で言われるように、神による天地創造といった宗教的な説明しかなかったが、自分自身の存在理由が科学的な説明によって行われるようになったのは、思想上の大きな転換点であった。特に、偶然 (突然変異) と選択 (自然淘汰) の組み合わせで、人類のような高度な知能を持つ生物が自然と発生するという考え方は、革新的であった。

進化論にはいくつかの派生的な考え方があるが、簡単に言うと以下のようなものである。

「自己複製する生物が存在し、自己複製の際に大方の性質が遺伝すると同時に、いくらかの変化 (突然変異) が起きれば、生物の多様性が生まれる。ここで、生存にとって必要な資源が有限であって生存競争があれば、弱者の方から生物が淘汰されていく。この多様性と自然淘汰の組み合わせによって、生物は進化していき、より複雑で高度な生物も生まれるようになる。」

では仮に、初めから様々な生物が存在しているが、自己複製の際に突然変異が起きないものとしよう。この場合、生物の種類は増えないので、自然淘汰が働くと、次第に種類が減っていくことになる。このままだと優れた生物だけが残るようになって考えやすいが、実際には自然淘汰は一貫した法則が適応されるわけではなく、気候変動や天変地異など偶然に左右されることもあるため、最終的にはすべての生物が絶滅してしまいかねない。

このことから、生物の進化には自然淘汰だけでなく、多様性の確保も重要であることが分かる。

イギリスの生物学者であるメイナード＝スミス ([John Maynard Smith](#)) は、進化論を一般化した。淘汰による進化が起きるためには以下の4つの条件が必要であることを述べた。^[*2.1.2]

- 増殖—ある個体から2つ以上の個体が複製される。
- 多様性—すべての個体が等しいということがない。
- 競争—遺伝される性質が、その個体の生存と増殖の成功率に影響する。
- 遺伝—A という種類の個体の増殖は、A という種類の個体の数を増やす。

これらすべての条件が満たされれば、淘汰による進化は必然である。生存・増殖能力の高い種類の個体は、その数を増やしていくのである。面白いことに、この一般化された進化論は「遺

伝子」がどのようなものであるかについては何も語っていない（[Jablonka, 2006](#)）。技術の進歩が生物の進化と似通っていると筆者が主張するのは、この点にある。^[*2.1.3]

さて、これ以降、技術の進歩と生物の進化論の共通点を取り上げていきたい。

^[*2.1.1] 偶然にもこのメモを書き始めた 2009 年はダーウィン生誕 200 周年である。

^[*2.1.2] ここで突然変異は明示されていないが、これら条件の組み合わせで含意される。

^[*2.1.3] このことは論理的に導かれることであり、技術の進化と進化論の共通点に関する話題は、神が生物を作ったのかどうかとは関係がないことにも注意されたい。逆に言えば、神による創造を説く宗教の敬虔な信者であっても、このメモに書かれている事項を実践することに矛盾はない。

技術の進化論

共通点

技術進歩の過程を観察すると、生物の進化と技術の進歩が似通っていることに気が付く。

たとえば、生物と同じように技術にも多様性があるのは疑いようのない事実であろう。たとえば、Google を使って engine というキーワードで画像検索してみると、実に様々なエンジンの画像が見られる。家用車のガソリン エンジンのもとより、ディーゼル エンジンやジェットエンジン、スターリング エンジンなどもある。ガソリン エンジンの中でも車種の違いによるエンジンの違いがあり、今まで開発されたエンジンは数え切れないほど存在する。

また、技術にも淘汰があるのもよくご存じのことである。たとえば、白黒テレビが初めて発売された当初は、革新的な商品としてデビューしたはずであるが、今ではカラー テレビに取って代わられたと言えるだろう。そして、今やその白黒とカラーのふたつの世代をまたいで普及したブラウン管も、次第に薄型パネルに置き換わりつつある。技術は、競争に晒される。

世代が変わっても、多くの技術は連続的に継承されていく。携帯電話ももとは固定電話の技術（と文化）を継承しており、新たに搭載されたインターネットの機能はパソコンの世界から導入したものである。携帯電話にテレビが組み込めるようになったのも、昔から蓄積されてきたテレビの技術があったからこそである。技術は遺伝する。

通常、ひとつの技術であっても多くの製品の中で活用されるものであるため「増殖」の条件も加わる。そして、技術にも増殖・多様性・競争・遺伝の 4 つの条件が成り立つ。つまり、技術にも生物のような進化が必然的に起こることになる。

相違点

ただし、技術進歩はいくつかの点において生物の進化と異なっている。

まず技術の場合、交配は 2 種類の技術に限定されないのが特徴的である。携帯電話ひとつをとっても、実に様々な技術が導入されていて、とても片手の指で数えられるようなものではない。

また、高校の教科書によれば、生物においては親から子へと形質が継承されるのは、遺伝子のおかげということになっている^[*2.3.1]。生物の遺伝子に当たるものは、技術の場合は何であろうか。考えてみると実に多様な形態が存在する。まず、教師・生徒の関係で学ぶ技術がある。これは伝える方と伝えられる側が同じ場所にいる。また、知人からメールや電話で教えてもらうこともある。空間的に離れた場所でも技術の伝承が可能である。さらに興味深いのが、文字による伝承である。これは時代を超えた伝承を可能とする。生物の遺伝子はその生物が絶滅してしまうと、遺伝される形質が失われてしまうが、技術の場合には一度廃れた技術でも後世に再び蘇らせることができる^[*2.3.2]。これらのことから、コミュニケーション技術の発達が、技術進歩を大きく促進してきたことが容易に想像がつく。

これらの違い以外にも、注意深い読者は大きな違いに気付かれるかも知れない。形質（生物の特徴）を表す遺伝子は、形質を体現する個体の中に存在する。それに対して、技術を応用した製品は、技術を獲得した技術者とは、別個の存在である。しかも、技術者は一生の間に複数の技術を身につけ、さらにその内容を変えていくことができる。コミュニケーションの発達との相乗効果と併せて、技術の進歩が生物の進歩よりも遙かに速く進むのは、このためであると考えられる。

^[*2.3.1] 最新の生物学では、（もちろんすべての学者の意見が一致しているわけではないが、）遺伝子以外の方法によっても親の形質が子に伝わるということが知られている（[Jablonka, 2006](#)）。

^[*2.3.2] ただし、遺伝子工学が発達すれば、氷河期に凍ってしまったマンモスの遺伝子からマンモスを再生できることが期待されている。

技術の連続性

以上、簡単に技術の進歩と生物の進歩の共通点を挙げてみたが、この中で最も異論があるのは、技術の連続性かも知れない。実際、子供の頃から慣れ親しんだ伝記では、エジソンが電球を発明したとか、ベルが電話を発明したとか言って、大発明を特定の個人に帰する傾向がある。そして、無の状態から突如として新しいアイデアを思い付くというのが、大発明家のイメージではないだろうか。ニュートンの例は特にひどく、リンゴが落ちるのを見て、まるで素人が重力の存在に気付いたような言われ方をしている。

ところが、ニュートンは数学や物理に精通した研究者であり、万有引力の発見はそれまでの努力の結晶であると解釈した方が自然である。歴史家が様々な発明を調査してみると、実際は古いアイデアの上に新しいアイデアが積み上げられている様子が確認されている。

下の図は、[Constant \(1980\)](#)から[Basalla \(1988\)](#)によって引用されているものである。面白いのは、Constant自身はガス タービンからターボジェットへの技術の不連続性を主張しているが、この図はむしろ連続性を示しているようである。ターボジェット エンジンとガス タービンは確かに似ていないかも知れないが、やはりターボジェットは熱力学や空気力学など従来からある技術に基づいて開発されていることが分かる。^[*2.4.1]

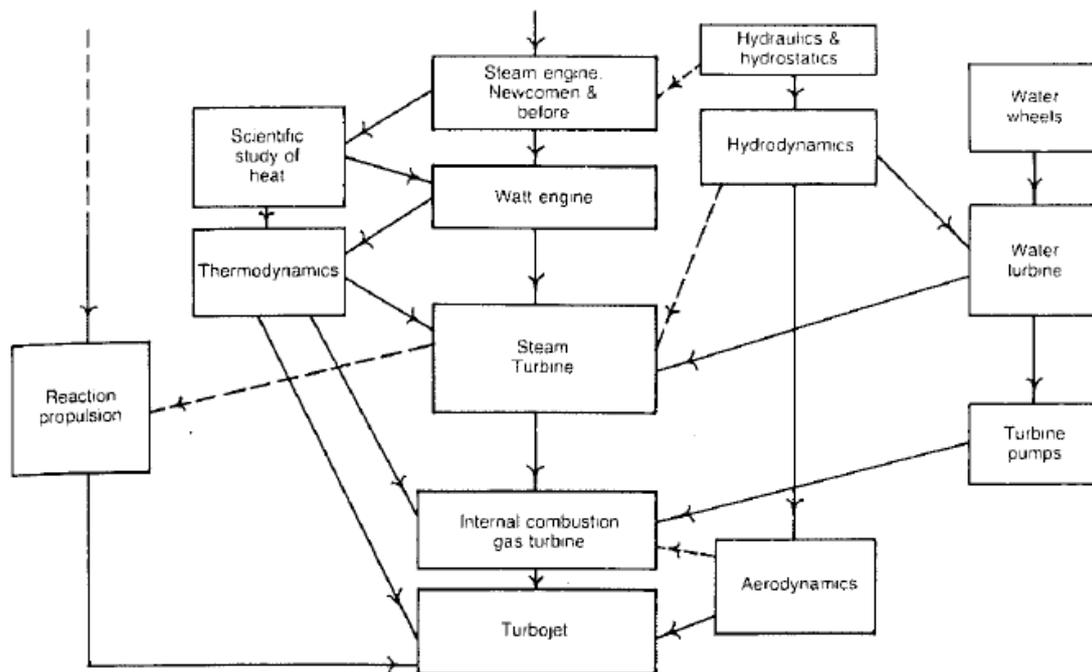


図 2.1 ターボジェット エンジンに関わる人工物と理論の関係を示す Constant の図。中心には、人工物の変化の流れが、蒸気機関からターボジェットまで描かれている。最右端に発電用水車などの人工物が描かれており、その左隣に関係する物理法則が並んでいる。注目すべきは、これら物理法則がそれまで見られなかったような新しい人工物を可能としている点である。

[Berkun \(2007\)](#)によれば、20 世紀のほとんどの発明はひらめきの瞬間に基づいていない。インターネット (WWW)、ウェブ ブラウザ、コンピュータのマウス、そして検索エンジンは現代を大きく変えた発明である。これらも、長い期間の改良と実験と発見の繰り返しが必要であった。そして、複数の個人や組織からの貢献があって、数年あるいは数十年の時間をかけて、やっと完成されたものである。数多くの発明を生み出した[金出教授](#)も「独創はひらめかない」(第 1 章 15.)と書いている。

世界初のマイクロ プロセッサを発明したとされる Ted Hoff の言葉がこれをよく表している：

「素晴らしいブレークスルーを漫然と待ち続けていても、そんなものはおそらく起こらないだろう。そうではなく、何らかのことを追い求めていかなければならない。見込みのあるものを見つけたのであれば、それを追い求めていくのだ。」

"If you're always waiting for that wonderful break-through, it's probably never going to happen. Instead, what you have to do is keep working on things. If you find something that looks good, follow through with it." ([Brown, 1988](#))

このメモを端的にまとめると、上記言葉に集約される。発明をひらめきに基づくものだとすると、発明家は途方に暮れるしかない。しかし、技術の連続性を認めれば、我々にできることはあるのである。

生物の進化と技術の進化を対比させてきたが、このような長い前置きを書いたのには理由がある。金出教授は、直接「進化論」を口にはされなかったが、指導内容はこの技術の進化論と大変辻褄が合うと感じていたからである。以後の文章では、教授に教わったことをこの進化のモデルをもって解釈することで、その合理性についても解説できればと思う。

^[*2.4.1] 実は、この連続性の議論は、論理的に証明不可能である。技術が連続的に変化する様子が発見されなかったとしても、それは不連続性を証明したことにはならない。なぜなら、調査が足りないと言えるからである。逆に、数多くの発明で連続性が証明されたとしても、すべての発明が連続的であると証明することができない。しかし、現実的に連続的な発明があることは間違いないので、継続的に給与を与えられているサラリーマン研究者は、従来技術を学ばずして、宝くじが当たるのを待つ感覚で発明を待つことは認められないだろう。

研究の手法

世の中には、このようにすれば必ず研究がうまく行くかのように解釈できる宣伝文句を付けた書籍が多く存在する。このメモでは、あえてそのような確実な手法は存在しないと言い切ってしまうことから始めたい。そもそもそんな手法があれば誰もこんなに苦労しないわけであり、技術経営も素人に任せることができるだろう。研究者の間ではタブーに近いこの事実は、研究者以外の人にとっては常識である。たとえばソフトウェアの開発計画に関する書籍である "Rapid Development" ([McConnell, 1996, p.47](#)) にいたっては『ソフトウェアの研究計画は、そもそも理論的に予測不可能である ("software research schedules are not even theoretically predictable." 筆者訳)』と断言している。

それでも筆者は希望を失っているわけではない。むしろ、不可能な理想を追求するよりも現実的な目標を掲げた方が成果が現れやすいという考え方がある。研究は不確実性が高いと認めた上で、その不確実性をできるかぎり小さくしようと努力することは可能なはずである。最近重要視されてきたリスク管理手法でもこの考え方が主流である。逆に言うと、不完全であることを認めなければ、リスク対策を打つことなどできない^[*3.1.1]。

以降の文章では、研究が難しいものであることを認めた上で、すべての研究をことごとく成功させるという非現実的な目標は下げる。代わって、すべての研究に渡る「成功の割合」を上げること注力すべきであると考え。そこで、特に金出教授の研究室においてどのようにこの成功率を高めていると考えられるかを、自分なりに解釈して説明する。

^[*3.1.1] リスク管理においては、起きうる危険についてあらかじめ考えておくのがひとつの課題である。不完全性を認めるこの流れは、他の分野でも見られる。たとえば経済学などの学問では限定合理性 (bounded rationality) という考え方がある。人が限られた情報しか入手できないために、合理的な判断にも限界があるという前提に基づいて行動のモデルを作成するようになっている。参考までに bounded rationality という言葉を初めに言い出したのは 2001 年まで CMU の教授であったサイモン (Herbert Simon) と言われている。

多様性の確保

技術の融合

「[技術の進化](#)」の章で説明したとおり、従来の技術の組み合わせに少しばかりの「突然変異」が加味されて、発明がなされるのであれば、生き残る技術を開発するためには多様性を確保することが重要になる。これは生物の進化を見れば明らかである。企業における研究においても、研究を成功させるのが難しい活動である以上、この多様性の確保は重要な観点であると考えられる。このメモでは、この多様性の確保について重点的に解説する。

生物は、遺伝子レベルでの多様性を確保するひとつの手段として交配をしている。

技術の進化における「交配」とは、従来技術の組み合わせに該当する。そのため、交配によって技術の多様性を確保するということは、技術の融合をしやすくすることになる。実は民間企業と大学とでは、この技術の交配に関する姿勢がまるで正反対であるように感じる。民間企業では、

- 原則として開発した技術は秘密にする
- 他の会社が開発した技術は採用したがない
(有償であることもひとつの理由)
- (日本企業では) 技術者がそれほど転職をしない

逆に (特にアメリカの) 大学では、

- 他の研究機関から研究員を招き、講演をしてもらう
- 他の研究機関の研究成果を盛んに引用する
- Sabbatical という制度を利用して、長期間他の研究機関に籍を置いたりする
- 大学間を移る先生が多い
- 学生の入れ替わりが激しい
- CMU などでは研究の **committee member** として外部の先生を招くのが普通である
(他の大学でも他学部の先生を招くことがある)
- 有名大学では、世界中から留学生が集まる

金出先生のお言葉を借りるならば、「大学では知らないことに **expose** される[晒される]確率が高い」ということである。これが、アイデアをより豊かにしていることは間違いないであろう。

1プロジェクト1人

大学での研究で特徴的なのは、原則としてひとつのプロジェクトは学生一人しか担当しないことである。ひとつの理由は、大学が教育機関であることによる。つまり、チームで作業をしていると、誰がどれくらいプロジェクトに貢献したかが分かりにくいいため、卒業させて良いかどうか分からなくなってしまうからである。

しかし、多様性の確保の観点から見ると、これは非常に理にかなった方法であることが分かる。まず、1プロジェクトに一人だけ割り当てれば、同じ学生の数でより多くのプロジェクトを実行することが可能となる。研究というのは成功が保証されているものではないので、可能な限り多くのアイデアを試すことが必要になる。1プロジェクトに一人だけ割り当てることによって、組織としての成功率が高まることになる。

一人でプロジェクト全体を担当することは教育的効果も高い。研究遂行のための全作業をひとりで行ったことがあるというのは学生にとっても有意義な体験となる。将来的にマネージャーになって実作業をしなくなっても、過去にすべての工程に渡って実作業を行ったことがあるというのは、ひとつの強みとなるはずである。 [*3.3.1](#)[*3.3.2](#)

^[*3.3.1] 実は、1プロジェクト1人と言っても、ひとりで同時に複数のプロジェクトを担当する人は多い。特に優秀な学生やポスドクにその傾向が見られるようである。このようにできれば、多様性の確保からは非常に理想的な状態になる。また、研究者本人にとっても、1つのプロジェクトしか担当しないときにくらべ、プロジェクトのどれかが成功する確率が高くなるので望ましい。複数プロジェクトを担当する際の教育的効果と併せると、相乗効果が得られ、なお一層効果が出るはずである。しかし、すべての人に複数のプロジェクトを担当させるのは、高すぎる目標であるかも知れない。

^[*3.3.2] 企業では大学と違って、チームで研究を行うのが良いという勧めがある。これは大学での研究と棲み分けるだけでなく、資金力のない他の組織では真似をできないものを作ろうという作戦があるように思う。本メモの初めに書いたとおり、すべての組織で1プロジェクト1人制を強制するつもりはない。それぞれの組織に合った開発体制があるはずだからである。しかし、その際にも多様性の制限や開発サイクルの長期化、失敗したときの損失などのデメリットも意識して、バランスの良い研究体制を築きあげることが必要であろう。

更なる多様性

1プロジェクトに1人割り当てれば、多様性が確保されるのは明らかであるが、ソフトウェアのように、開発にかかるコストが比較的少ない分野では、さらに多様性を確保できる。それは、開発の速さによってもたらされる。ひとつのステップが終わるのが早ければ、すぐ次のステップに移行することができる。次のステップに移行すれば、また改良ができるわけで、開発サイクルが短ければ、改善するスピードも向上する。金出先生も「できるヤツは、実装も速い」とおっしゃっているとおり、実装が速ければより多くのアイデアを試せる。CMUで周りのPhDの学生を見ても、プログラミング能力が非常に高い。複数のプログラミング言語を使いこなし、外部のソースコード（オープンソース）も活用しながら、もっとも効率的な手段を選択しているのが分かる。研究者と言えども、事業部レベルの開発能力を持っており、卒業後は製品開発に携わる人もいる。

筆者がCMUに滞在した最後の年の6ヶ月に10種類を超えるアルゴリズムを実装した。これはランダムに様々なアイデアを試していったわけではなく、ひとつのテーマを中心に行ったものである。具体的に言うと、画像を分類する方法を探すために、様々な方法を試していたのである。これは非常に勉強になった。

より多くのアイデアを試せば、好循環も生まれる。あるアルゴリズムを実装すれば、そのアルゴリズムに対する理解が深まるので、新しいアイデアを試すたびに勉強になる。より多くのアイデアを試すことができれば、知識の幅も広がり、次の実装がより上手にできる。沢山の問題を解くことの重要性については、後の「[研究は記憶だ](#)」の節でも述べる。

外部との接触

アメリカに出てとても強く感じるのは、今までなんと狭い世界に閉じこもっていたのだろうか、ということである。それまで会社の中では、同僚は皆ほぼ同じ知識を持ち、同じ見通しを共有し、似たようなアイデアを考え出しながら、世界の中で自分の技術力がどれほどのものか分からないでいた。言ってみれば、井の中の蛙であった。

社外に出て、様々な立場の方々とお話しすることができた。アメリカ国内や日本だけでなく、韓国や中国から来たポスドク、フランスやロシアから来た教授もいる。同じコンピュータ ビジ

ジョンを研究していると言っても、3次元の情報を扱っている人もいれば、コンピュータ グラフィックスとの関係でビジョンの研究している人もいらっしやった。そしてもちろん、同じテーマを研究しながら、世界一流の研究をしている方とも会うことができた。その中で、自分は何が得意か、何が足りないか、自問することができた。また、様々な方々のお話を聞くことで、発想力が活性化されたと感じる。

ピッツバーグの話ではないが、カリフォルニアのシリコン バレーには多くの IT 企業があり、大成功を手中にしている企業も多い。なぜ同じ場所にある会社がこんなにたくさん成功するのか。シリコン バレーには IT の神様がいて、その神様が成功を与えてくれるという話でも説明が付くかも知れないが、残念ながらこれではあまり説得力がない。現実には、それぞれの企業の間で密に情報のやりとりがあるとのことである。ひとつ明らかなのは人材の流れである。人材の流動性が高いアメリカでは、社員は頻繁に転職する。シリコン バレーの企業間で人材の交換が行われ、これが情報の融合を促していると考えている人は多い。もうひとつ聞くところによると、シリコン バレーの企業は機密管理もあまり厳密でないようだ。社外の人に技術の相談をしたり、パブで会社の話をするというのはざらにあるそうだ。このようにして、それぞれの会社がお互い助け合いながら成長する姿が、シリコン バレーにはある。^[*3.5.1]

機密を持ち出すことは勧めないが、このように外部との接触は、研究者にとって非常に重要なことのように感じられる。いや、必須であるとさえ言える。同じような人たちと話しているのは、心地よいことではあるが、やはり発想が限られてくる。また、フィードバックも予想できるものばかりになってしまう。上司にとっても、部下がどれほどのアイデアを提案したのか、外部の評価がなければ判断が難しいであろう。海外に出ることはコストがかかるので、すべての社員に同じことを勧めることはできないが、ぜひ国内だけでも他の研究者と交わることを勧めたい。また、会社もこれを促進するような活動を行うべきであると考える。

^[*3.5.1] 現実には、日本の企業においても役員同士では企業情報の交換がよく行われているようで、助け合いがないわけではない。しかし技術者同士の交流は制限されているように感じる。

研究の連続性

技術の連続性

生物の進化論は、種の連続性が仮定されている。そして金出先生も、研究の連続性を重視する。それは、今までの研究に関連する研究を次のテーマとすることを意味する。そのようにすることで、その領域での強みをさらに発揮できるようになる。いつも経験のないことをしていると、何をしても中途半端になってしまう可能性が高い。研究テーマを連続的に選ぶことによって、今までの経験や知識が次のテーマにも生かせるようになる。会社の経営で言うところのコア コンピテンスの考え方と通じるものがある。

筆者が CMU に渡る前から注目していた博士課程の学生がいる。その学生も thesis proposal（研究テーマの提案）段階から thesis defense（卒業のための口頭発表）の段階まで首尾一貫したテーマがあった。具体的に書くと、画像の中の物体を認識する際に alignment と呼ばれる技術を使い通した。これは彼が博士課程に入る前から持ち込んだ技術であり、卒業時の研究ではこれを大きく発展させた。

ステップの連続性

金出先生は壮大な計画をよしとしない。複数の技術を開発しなければ成り立たないようなシステムをあまり作らない。最終的に複雑なシステムができあがっても、それはひとつひとつの技術を丹念に作り上げたものを後で組み合わせただけである。

この思考は、標準的なプロジェクト管理の進め方と合致する。中規模以上のソフトウェア開発をする際には、まず要求仕様を定義する。ここで、多くの機能を詰め込みすぎること**feature creep**という。プロジェクト管理では、**feature creep**はプロジェクトが破綻する一要因としてよく取り上げられている ([McConnell, 1996](#))。リスクの高いこと、つまり先が読めないことはなるべく数を押さえることが肝要とされている^[*3.7.1]。

プログラマーであれば、ほとんどの方が聞いたことがあるはずのアジャイルプログラミングというソフトウェア開発手法がある。その特徴は、要求仕様の変更を開発途上で許すことで、市場の要求に適合した製品を作ることが可能にすることにある。このアジャイルプログラミングにおいても、要求仕様を変更する際には、少しずつ変えていくことを推奨している。少し変えては、動作を確認し、もう少し変えては動作を確認する。

プロジェクト管理においては、リスクの高い要素がある場合、そのリスクの高いところにまず着手し、その安全性が確認されてから、他のより安全な技術が開発することが良いとされる。その方が、大きな問題を早めに解決することができ、プロジェクトの終盤において計画が大きくひっくり返るようなことを減らすことができる。金出先生の研究アプローチでも、新しいアイデアがある場合、そのアイデアの肝となる現象を先に確認することがまず優先される。その現象を確認することが簡単でない場合は、確認するまでの手順を細分化し、細分化された項目を順次確認していく。たとえば、デジタル画像の中の人を検出しようと思った場合、肩と頭の形 (**Ω-shape**) を画像中に探すというアイデアがあったとする。しかし、既存の手法で **Ω** の形を探すアルゴリズムはない。そのため、まず **Ω** の形を検出するアルゴリズムを作ることになる。しかし、ここでいきなりその **Ω** 検出器で人を探すということはしない。まず行うべきなのは、本当に **Ω** を見つけることができるのか。そして、**Ω** 以外では反応しないということを確認することである^[*3.7.2]。

研究者の中には、ここにひとつの矛盾を感じておられる方もいらっしゃるかも知れない。金出先生も含めて多くの著名な研究者は、型破りなことをしている人も少なくない。恐らく型破りなことをして成功する方が、研究としては面白いだろう。しかし、先生が指摘するのは、「型破りなことをしている人は、偉くなってから型破りなことをするようになった人が多い」とのことである。

^[*3.7.1]p.103 With two or three high-risk areas, even your best schedule projections will be nearly meaningless.

^[*3.7.2]当然通常の個人で行うプログラミングでは、さらに細かいレベルに細分化してコーディングし、動作確認をしながらコーディングを続けていくことになる。

経験から学ぶ

前の説で**多様性の確保**の重要性を述べたが、生物進化の場合、この多様性は非常にランダムのように見える。幸いにして人間には知能があり、今までの経験や知識から次のアイデアを思い付くことになる。全くランダムな突然変異というのは死に至る確率が高いので、研究においては知能を最大限に活用すべきである。

よく論文を読み、教科書で勉強するというのは知識を付ける上で当たり前のことである。あまりに当たり前なのでここでは取り上げないことにする。逆に、試したアイデアの屍が累々としていても、その地獄から這い上がることはできることを取り上げたい。[Schwartz \(2004\)](#)によれば、成功している発明家というのは繰り返し失敗するそうである。まるで失敗を待ち望んでいるように見えるそうである（「第9章 失敗を糧にする」）。これ自体は「多様性の確保」の観点から有効であるが、成功している発明家が普通の人たちと異なるのは、これらの失敗から必ず何かを学ぶということであるようだ。

金出先生の研究アプローチも同じであると言える。ここで重要なのはどうしてうまく行かなかったのか、しっかり理解しておくということである。そのためには、試したアイデアがどのように機能しているかを徹底的に調べ尽くす。その方法のひとつが可視化である。たとえば、画像の中に人が立っているかどうかコンピュータに判断させる場合、通常は、その画像をコンピュータが扱いやすい別の数値表現（特徴量と呼ぶ）に計算し直すのが普通である。まずその表現が本当に期待したとおりであるか、その表現をもういちど人間が見やすい形にして図示化する。たとえば、下図は金出先生とのミーティングで実際に使ったスライドである。これは自動車の検出をするときに使用したものだが、そのときに画像上の特定の領域にある部品の形状を数値化してみた。しかし、その数値を見ただけでは何が起きているのか理解するのが難しいので、その数値がどのような形状を表しているのかを絵にして見た。左上に自動車の画像がある[*3.8.1](#)。このスライドで注目しているのは、赤い正方形で示された領域である。右に白黒の画像が複数並んでいるが、それぞれ複数の自動車画像の注目領域にある部品の形状を示している。これらの形状は先ほど計算した数値から得られたものである。その多くは車のテールランプらしい形をしているのが分かる。これで数値化の方法が所望のものであることが確認できる。

Characterizing Shape

Self-Similarity descriptors for the (left) tail-lamp:



図 3.1 金出先生とのミーティングで使用したスライド

このような手法を採用しているのは、金出先生だけではない。たとえば、画像の中の人物を探

すアルゴリズムを研究していた [Dalalら \(2004\)](#) は、論文にある画像を載せている。Dalalらは、画像の輪郭情報（エッジ）を利用して、画像に人物が写っているのかどうかを判断している。下の図が Dalal らが開発したアルゴリズムを分かりやすく図にしたものである。左側の画像のようなエッジが見つかれば人と判断し、右側のエッジが見つかれば人物でないと判断するということを表している。ここまで可視化して、アルゴリズムが何をしているのか確認し、理解しようとしているのが分かる。

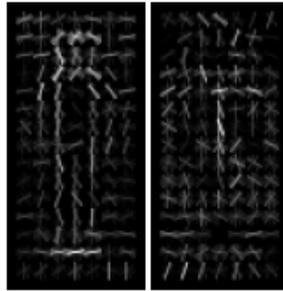


図 3.2 [Dalal \(2004\)](#) が示した画像

ここまで確認できると、たとえアルゴリズムの精度が期待したほど高くなかったとしても、どうしてうまく行かないのか、どうすれば改良できるのかが見えてくる。目標に達しなければ「失敗」と呼ぶことはできるが、なぜ目標に達していないのか反省しなければ、その失敗は時間の無駄となる。もし目標に達していなくても、そこから何か学ぶことがあれば、それは失敗ではないだろう。

可視化は、研究を行っている当事者にとってだけ有用なものというわけではない。他の人に自分の研究内容を説明する際にも有効な手段である。他の人に研究内容を説明するのは、宣伝のためという認識があるかも知れない。しかし、それだけではない。技術の融合という観点から見ても、技術内容の説明は必要なことである。というのは、たとえば先輩や同僚に技術的な意見を求めようとする場合、担当者でない人に細かい数式を追ってもらうのは負担が大きい上に、十分にその意図が伝わらないことがある。金出先生も「素人の発想」を大切にされているが、その素人の発想を伝えやすいのは、やはり図や画像なのである。そして、この直感的な説明から、目的を果たしているかどうか判断しやすくなる上に、さらに新しいアイデアが浮かぶことがある。このサイクルを金出先生のミーティングで繰り返し経験した。

[*3.8.1](#) 実際はデータベースにある自動車画像の平均

研究は記憶だ

金出先生と会話していたとき、とても印象に残った言葉があった。先生は、大学受験前の時期 1 ヶ月間に数学の問題を 3,000 題も解かれた。その 3,000 題のお陰でどんな問題も簡単に解けるようになったとのことだった。「研究も記憶ですか」という質問に対し、「研究も記憶だ」と断定された。過去に見た方法を覚えておくことで、新しい問題を解くことができるというのである。パターン認識の研究者が記憶の重要性を主張しているのは、不思議である。というのは、ほとんどの研究者は、記憶に頼らないで、少ない事例から多くを学ぶ方法を考えようとしているからである [*3.9.1](#)。それは置いておくことにして、考えてみれば、これも技術の連続性と関係があることが分かる。先生は、技術の連続性を主張されているのだ。

同時に、筆者にまず足りないのはこれだと感じた。キャリアの途中から研究者に転向した身として筆者は、勤務年数の割りに経験が未熟である。これから多くの問題を解くことで、そのハンディキャップを克服しなければならない。そして、より多くの問題を解くことで、他の研究者よりも高い解決能力を身に付けなければならない。そのためには、先の「[更なる多様性](#)」の節で説明したとおり、素早く次々と課題を解決していき、経験を蓄えていく必要がある。

^[*3.9.1]ただ、先生は類似問題であるかどうか判断する能力の必要性も認めている。

淘汰

自然淘汰も進化論において非常に重要な概念である。研究においても淘汰が働くのは疑いようのない事実である。研究者は何も努力しなくても、技術は次々と淘汰されていく。「淘汰」に対して、研究者ができることは2つある。ひとつは、開発した技術が淘汰されてこの世からなくなってしまうようにすること。もうひとつは、いずれ淘汰されてしまうような技術は、早めに研究をやめるということである。この2つをバランスよく行うのは、至難の業である。

会社では通常、上司あるいはその上の上司が、プロジェクトの中止判断を下すことになる。その際、ある技術の優位性について評価を行わなければならない。しかし、階層が上になればなるほどその分野の常識から離れていく。そのため、検討技術の優位性については部下の言葉を信じるしかなくなってしまう。大学では、この問題が比較的簡単に緩和されている。というのは、常に外部の学会に研究内容を公表しているため、通過率の低い学会に採用されたかどうかで、技術の優位性が判断されるからである。もちろん、完全に客観的な判断がされることはないであろうが、その分野により精通した査読者が判断するので、よりの確であると言える。また、発表時の聴衆からの質問は研究者にとって貴重なフィードバックとなる。広報を目的として学会発表をしている会社が多いが、技術評価のためにも学会など外部発表を利用するべきではないだろうか。

効率の追求

効率と多様性の相反性

世界的に有名な CMU に来て驚くことがある。それは、研究をするのに環境が最適化されていない点である。環境だけを比較すると、会社で作業をする方が余程効率的なような気がする。会社では、最新の計算機を使い、清潔で静かで明るい研究室で開発を行う。残業規制もあるため夜遅くまで会社に残ることは許されず、休日出勤をしようと思ったら申請が面倒なようになっている。業務は短時間で行わなければならない。CMU での研究環境は、これの正反対と言える。効率の追求とは何だろうかと考えさせられる。一世代前のパソコンを支給され、隣で新しいビルを建てているため建物は揺れ、休憩室では人が大声で話し、雑然とした研究室では備品の管理はずさんとさえ言える。昼も夜も人が働いていて、土日も煌々と明かりが付いている。それでも CMU は全米の大学の中では少ない予算で高い生産性を誇る大学としてランクされる[CMU の人事部談]。

しばらくここで研究をしていると、なぜ生産性が高いか、その理由がいくらか分かるようになってきた。まず、多くの日本企業とアメリカ企業に見られる違いが目につく。アメリカの大き

な企業の多くは、技術開発職と事務職を完全に分けており、技術者・研究者も事務職の人も担当業務に集中できるようになっている。10年以上前にカリフォルニアで働いていたことがあったが、そこの秘書に指摘されたことが今でも印象に残る。そのとき私は、部屋の模様替えを手伝おうと、重たい植木を動かそうとしていた。すると、すかさずその秘書は私を止めた。「高い給料を払っている技術者にそのような仕事をさせるわけにはいかない。その仕事をするのにふさわしい人がいるのだから、その人に任せなさい。怪我でもされたら会社はさらに賠償までしなければならなくなる。」と。餅は餅屋と言われるように、人それぞれ得意なことと不得意なことがある。仕事は、それぞれ得意な人に任せるとするのは作業分担の基本ではなかろうか。特にアメリカは職種による給与の違いが顕著であることも理由のひとつとしてあるが、なぜ日本企業がこのコスト意識を持たないのか、今でも疑問に思う^[*3.11.1]。

このように明らかに効率的なことを大学がしていることもあるが、逆に、今まで「効率」の考え方に疑問を投げかけられることもある。たとえば、ソフトウェアに関する研究をしている場合、会社では皆が使えるライブラリ（ソフトウェアの部品）を開発して、作業の効率を良くしようという発想がある。しかし、少なくともCMUのRIではそのような作業は皆無に近い。あったとしても、それは外部に公表して自分の手柄にしようという発想である。必ずしも身内を助けるためではないのだ。あれこれと多様性の確保を心がけていると、実はこのライブラリを開発すると、発想が貧困になることがあることに気が付く。「金槌を持つ人には、すべてが釘に見える」という表現がある。たとえば、PCA（データを解析するための手法）を実装したライブラリを作ったとしよう。これを手に入れた研究者はどうするかというと、PCAを使って何かできないかと考えるようになってしまい、新しい手法を試さなくなってしまうのである。通常使いやすいライブラリというのは使い古された技術を実装したものであることが多いので、結局このライブラリを使っているだけでは、大して斬新な発明をすることができなくなってしまう。^[*3.11.2]

この考え方をさらに推し進めると、作業効率の追求が一般的に多様性の確保を犠牲にすることが分かる。ある手法が非常に効率的になってしまうと、その手法が使えない作業が非常に面倒になってしまうのである。結果的に、いつも同じ手法ばかりを使うようになる。効率の追求は至極当たり前の作業にのみ要求することにして、他の作業に対しては慎重に行わなければならない。至極当たり前の作業というのは、計算を手作業ではなくパソコンに行わせるとか、学会誌をオンラインで読めるようにするなどのことである。

当たり前でない作業を効率化するのは、無理ではないかという問題もある。金出教授も、「効率の追求は結果を出してから」とおっしゃったことがあった。そもそも効率の追求は、測定可能な指標があればこそである。しかし、現実には発想力というものには測定できない。また、どのようなことが発想の豊かさにつながるのか分からないものである。どのようなことをすれば、研究が実を結ぶかも分からないものである。次々と成果を出し続けた後に、結果を導くのに必要だった作業と必要でなかった作業が見分けられるようになるのかも知れない。結果を出す前に、要不要を判断することは、それなりのリスクを伴う。

^[*3.11.1] 給与に関しては、他にも無給の大学院生に研究をさせているという点も見逃せない。実際には奨学金を与えたり、働く環境を与えたりしているので、全く費用がかからないというわけではないが、学生に給与がないことが大学における研究の投資効果を高めているのは間違いない。（研究に必要な機材を学生自身が自腹で購入するのもよく見られる。）企業において人に無給で働かせることはできないので、この点はあまり主張しないことにする。

^[*3.11.2] 少し表現が大げさになってしまったが、ライブラリ構築の意義を完全に否定するつもりはない。どちらかというとならぬ筆者も渡米前はライブラリ構築派であった。ライブラリを構築すれば、

- 他の人がその技術を理解するのが早くなる
- 他の人がその技術を利用したソフトウェアを比較的短い時間で開発できるようになる
- 開発者がいなくなっても、後の人が昔の技術を参照することができるようになる

などのメリットがある。特に、その技術の可能性をチームで徹底的に調べ尽くそうとするときには威力を発揮するであろう。しかし、他の人が利用できるようなライブラリの開発は、非常に時間がかかるということも忘れてはならない。再利用の可能性も含めた様々な条件を考えて、その都度ライブラリ化を行うべきかどうか判断するべきであろう。

自主性の尊重

大学での研究と企業での研究とで最も明らかな違いのひとつは、業務内容を決めるのは誰かという点にあるだろう。通常、会社においては研究者の業務内容を決めるのは原則として上司である。逆に、大学においては原則として本人（教授や博士課程学生）である。この違いには複数の理由が考えられる。

業務内容を決めるのは：	実務者本人	上司
長所	<ul style="list-style-type: none"> ● 業務遂行能力の高い人材を活用できる。 ● 業務内容を自分で決めた方が本人の精神的ストレスが少ない。 ● プロジェクトの成功・失敗が本人の責任となり、業務内容の選択と実行にまじめに取り組まなければならないなくなる。 ● 現場のニーズに合わせて、計画を変える柔軟性がある。 ● 本人が意欲的に取り組める業務内容を選ぶことができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 数多くの社員を採用した場合、どうしても平均的な質は下がるので、部下よりも業務遂行能力の高いと考えられる上司が、本人に代わって業務内容を決めた方が組織の平均的アウトプットが向上する。 ● 会社のニーズに合った業務内容を定めることができる。 ● 通常、上司の方が、他部門からの情報を得やすい立場にあるため、より広い視野でもって判断を下すことができる。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ● 業務遂行能力の低い人材は、自分で業務内容を決められず、計画を立てられない。 ● 研究においては、何がうまく行くか分からないことが多いので、面白そうかどうかという感覚で判断してしまう。 ● 会社のニーズが十分に伝わっていないと、会社にとつ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 業務遂行能力の高い部下の場合、その能力を無駄にすることになる。 ● 研究においては、何がうまく行くか分からないことが多いので、上司でも決定が難しい。 ● 一人の人間が考え付くアイデアには限りがある。 ● プロジェクトがうまく行かないとき、部下は上司に責任転嫁し、上司は部下に責任転嫁でき

	<p>て無意味な業務が選択されることが多くなる。</p>	<p>る。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 上司の業務内容もその上の上司が決めると、階層が上がるにつれて現場の情報が希釈されてしまうため、最終的に情報不足の中で判断せざるを得ない。 ● 仕事をさせられている感じが強くなり、部下の意欲が低下する傾向にある。
--	------------------------------	--

研究という不確定要素の多い業務の場合、研究テーマを選択するのは至難の業である。大学において自主性が尊重されることが良いのは、そのためであると考えられる^[*3.12.1]。逆に、会社では主に業務内容を上司が決めるのは、ふたつの前提があることに気付く。ひとつは、上司は選ばれた存在であるため、平均的な部下よりも業務遂行能力が高いという点。もうひとつは、会社においては多くの人材を雇う必要があつて、被雇用者が全員業務遂行能力が高いということは期待できない点である。いずれの場合も上司が業務内容を決めた方が、全社員の平均的な効率が向上すると考えられる。

しかし、業務内容を上司が決めるにせよ、本人が決めるにせよ、どちらの体制にもそれなりに深刻な短所があることが分かる。アメリカの大学は非常に冷徹なところがあり、原則として契約による雇用制度を採用している。そのため、契約を更新せず研究者を解雇してしまえば、本人が業務内容を定める際の短所は大方解決できてしまう。日本企業においては、それほど簡単に解雇はしたくないというところがあり、これが上司が業務内容を決定する動機となる。それにしても、アイデアの多様性、計画の柔軟性、上司の負担、部下の労働意欲という観点から考えると、なるべくなら部下の自主性を尊重したいものである。特に、優秀な部下を採用することができた場合には、会社のニーズを的確に伝えた上で、業務内容を自由に選択させるべきではないだろうか。

^[*3.12.1]大学の先生が人の言うことを聞くような性格でないことを指摘する方もいらっしゃるであろうが、なぜそのような人が大学で働き続けられるのかも考えなければならない。

ゆとり

ゆとり教育の見直しにより、すっかり「ゆとり」という言葉はイメージを悪くしてしまった。詰め込み教育で育ってきた親が評価するならば、新しい価値観を提示するゆとり教育は評価されるはずがなかったとも言える。特に、勤勉を善しとしている日本人にとって、時間を持て余すのは罪悪感を引き起こし、気分が悪い。しかし、「ゆとり」や「余裕」という言葉は本来肯定的な意味合いもある。そこには、「したいと思ったときにしたいことができる自由」という前向きなニュアンスが含まれているはずである。ゆとり教育の中でも、勉強を重視する家庭では子供にみっちり塾に通わせるなどすることができたはずだったのである。つまりその余裕があった。しかし、親はその自由をうまく活用することができず、自らその自由を断ち切ろうとしているように見えるのは筆者だけであろうか。^[*3.13.1]

DeMarco (2002) は、企業活動におけるゆとりの重要性について解説している。あらかじめ定義された役割を全うするのに精一杯であると、何か想定外のことが起きると、計画が確実に狂うと指摘している。全てを見通すことは不可能であるため、想定外のことは必ず起きる。ソフトウェアの開発作業においては、ちょっとした設計変更や、障害（バグ）の発見は日常茶飯事

のように起きることである。

開発作業におけるゆとり以上に、研究におけるゆとりは重要であろう。というのは、そもそも研究の目的は、何か予想外のことを発見することであると言える。たとえば、今や3Mという会社は、ポストイットで有名であるが、これに使用される接着剤は、たまたま発見したものであった。粘着性がいまひとつである物質の可能性を試す余裕がなければ、このように爆発的に売れる商品が生まれることはなかったかも知れない ([Post-it Note History](#))。

余裕にはいくつか異なる意味があるが、そのひとつに時間的余裕がある。Googleの20%ルールが有名であるが、3Mにも"bootlegging policy"というものがある。これは、時間の15%を研究者自身が選んだプロジェクトに使ってよいというものである。これにより、研究者は何かを発明した際、その発明の可能性を試すことができる。そのbootlegging policyにより、ポストイットやスコッチ テープなどが開発された。

余裕という言葉のまた別の意味に、計画を変更する余裕というものもある。Bootlegging policyがあっても、最終的にプロジェクトを本業にできなければ、製品開発までたどり着けない。何か有望そうな技術があれば、それを本格的に開発するという計画の変更が必要である。

大学の研究者を見ていると、その自由度の高さが目に付く。金出先生もコンピュータ ビジョンから始めて、ロボティクスへと専門を広げていらっしゃるが、複数の分野をまたがる研究者は非常に多い。また、今回筆者がCMUに派遣されて研究している最中にも、人物の検出を試してみたり、自動車の形状認識を試してみたりと、様々な技術を試したりした。その理由は、人物検出のために開発したアルゴリズムがもしかして自動車の検出に使えるのではないかと考えたからである。20%ルールも魅力的であるが、様々なアイデアを試すことのできる余裕は研究において非常に重要なように思われる。

^[*3.13.1] そういった意味で、皆の不安を助長させた学習塾の広告はやりすぎで、自らの首を絞めてしまったとも指摘できる。また、ゆとり教育が結果的に教育格差や貧富の差を拡大させることも予想できる。

研究者の気質

オプティミズムと根気

アメリカに来て多くの日本人研究者が気付くことは、アメリカ人が前向きであることである。そして、親密にならない限り、知っている人に関して否定的なことを言わない。まるで人を否定することが罪のように感じているようにさえ見える。逆に、日本人ははっきり言ってしまえば消極的に見える。日本人は大洞もあまり吹かない。

もちろんすべてのアメリカ人が同じ性格と言うことはなく、日本人よりも日本人らしい性格の人もないわけではない。しかし、日本人としてこのアメリカ人らしさを見てみると、面白い。たとえば、それほど上手でなくても自分はギターがうまいとか、料理に詳しいとか平気で言う人がいる。また、将来会社を興したいとはっきり夢を述べる人も多い。アフリカにいる貧しい人々を助けたいというのも、自分に何か世の中を変えることができる自信の表れであるように見える。アメリカ人は、とてもオプティミズムを大切にしている。

子供が通っている学校の様子を見てもそれは明らかである。日本人から見るとあまり大したことがなかったとしても、先生たちは子供たちを褒めちぎる。"That's great!"とか"Good job!"などはよく聞く日常語である。学校の面談のときに聞いてみると、先生として褒めることを教育されているのだとか。心理学でも、否定的な言葉や行為は子供たちに良い影響がないことが知られている。肯定的に育てられた子供たちは、挑戦する勇気を培われ、能力ある人はますますその能力を発揮することができるようになるのであろう。

研究においても、オプティミズムは大切である。大人たちもそのことをよく知っている。ほとんどの場合、アイデアを否定されることはない。結果的に否定しているとしても、「そのやり方ではこれこれこのような問題に直面するだろう」など論理的客観的な言い方だったり、より良いアイデアを提示されたりする。金出先生も日本人であるが、やはり筆者の自信なきげなアイデアを直接否定することはほとんどなかった。どちらかと言うと、思い付いたのだったらなぜ試さなかったのかと問いただされる。

第二次世界大戦中のイギリスの首相であったチャーチル (Winston Churchill) は、

Success is the ability to go from one failure to another with no loss of enthusiasm
成功とは、失敗を続けても熱意を失わない才能のことである (筆者訳)

と言ったとされる。研究とは、はっきり言って失敗の連続であり、新しく考案した手法が従来技術を上回ったりするのは希である。

そのため研究を続けるには、オプティミズムを保つのは非常に重要なことである。繰り返し繰り返し失敗をしても、もう一度挑戦する勇気を維持しなければならない。金出先生の薦めでは、大きな課題を小さな課題に分割して、小さな課題を次々と解決していくように言われた。

このようにすれば、結果は大体予想できるし、大きすぎる失敗を防ぐことができる。さすがに大きな失敗を繰り返すと、気分は滅入る。だから、小問題を解決するたびに小さな仮説を立て、こつこつと確認しながらゴールに向かって突き進むのが良い。このことを気持ちを保つための工夫として説明されていた。

同僚と話していて、もうひとつ気付いたのは、頭が良すぎてもいけないということである。何かを始める前に結果がうまく行きそうでないことを認めてしまうと、とてもやる気が起きない。実際は、やり始めれば新しい事実も分かってくるわけで、新しい事実が分かれば新しい解決策が見つかる場合もある。それなのに、初めに与えられた情報だけで考えて、すべてを否定してしまうと、とても研究を始める気持ちになれない。同僚と話していたときの結論としては、自分の実行力以上に頭が良くてはいけないということになった。自分に何かができないということに気付かないというのは、常にチャレンジし続け、成長し続ける上では必要なことかも知れない。

負けず嫌い

2007年MIT（マサチューセッツ工科大学）を訪ねたとき、石井裕教授に「金出先生のどこがすごいかわかるか」と聞かれたことがあった。そのとき、筆者は素直に自分の気持ちを表して「理解力がすごい」と述べ、何らそれを疑うことがなかった。ところが、その返答に石井先生は怒りをあらわにし、「そんなもんじゃない」と一喝されたのを覚えている。石井先生によれば、金出先生は「手がけるものを何でも金にする」ということであつたが、筆者にはその意味が良く分からなかった。その意味が分かるようになったのは、直に先生に触れて約2年の歳月が過ぎてからであつた。

金出先生は、自分のことを説明される時、必ず自分が負けず嫌いだったということを取り上げる。それだけ今までの業績がこの性格に依存していたと感じておられるのだと思う。人にはあまり見せなかったが、とにかく負けず嫌いであつたらしい。

他の学者についても同様のことを指摘されている。そして、諦めなければ勝てるということ説く。例えば、次のようなことをおっしゃっている。

「研究とは、（問題を守っている）門番との勝負である。諦めた方の負け。」

「事実があつて理論を思い付くのではなく、理論を使って事実をねじ伏せていく。」

「すごいと思う人は皆ねじ伏せようという気概が感じされる。」

「理論屋にもしつこさがある。」

「続けるべきかどうか、諦めるかどうかというのは、後になってみないと分からない。とにかくしつこくやるしかない。」

金出先生が何でも金にするというのは、必ず結果を出すということであつたのだと思われる。その秘訣は負けず嫌いであるということ。

しかし、一般に負けず嫌いは肯定的な表現ではない。周りの人から疎まれる性質でもある。その辺りは、「かわいさ」でカバーする必要があるとのことである。上司や周りの人に好かれることも成功するのに必要そうだ。

凝り性

CMU で仕事をしている研究者を見ていると、凝り性な人が多い。金出先生もやはりその一人で、気が済むまで仕事を続け、時には睡眠を 3 時間しか取られないこともある。それでも次の日も疲れを見せないところは、さすがに常人には真似することができない。金出先生の奥様によれば、先生は「疲れたと言ったことがなかった」とのことである。

先生は「昼休みはいらない」とおっしゃり、弁当を食べながら会議をする。自宅でもその凝り性ぶりが発揮され、日曜大工に勤しむ。ご自宅にある木製の棚の美しい曲線が自慢である。ゴルフの腕前も新聞に載るほど。何をするにしても、手を抜かない。

その完璧主義的な行動と、本人がロボットではないかと思わせるほどの体力が組み合わさって、金出先生の業績が成り立っているのだと、実感する。実際に目の当たりにすると、自分も含めて、とても敵わないと感じる研究者が多い。

正直なところ、今の日本国内の企業には、凝り性な部分を大切にする風土があまりないのではないだろうか。もし金出先生並みに有能な社員がいたとしても、社内ではその能力を発揮することは残念なならないであろう。これに関しては、「[勤務形態](#)」でも述べる。

個人差

日本には「能ある鷹は爪を隠す」という表現があり、能力が高い人でもその才能をひけらかさないのが美德である。そのために個人の能力差がそれほどはっきり見えないように思う。筆者自身、日本人にはどれほど実力差があるのか正直言って分からない。そのためか日本では、「人なんて皆同じようなレベルだ」という思想が行き渡っているように思う。

アメリカでは爪を隠すと言うことが少ない。自由競争が基本理念の国において、爪を隠す生き方はおそらく相性が悪いのであろう。そのため CMU に来ると、個人の實力差を目の当たりにすることになる。ひとつには CMU 自体が世界的に有名な学校であるということもある。言ってみれば、世界トップ レベルの人が集まる学校なのだ。日本人研究者の間で優秀と見なされているある日本人准教授は、「自分はここでは PhD の学生レベルだ」とおっしゃっていたが、恐らくそれは謙遜ではなかったと思う。それほど優秀な人が集まる。また、学校が要求する学生の水準も高い。

一流の素質を持ち、一流の教育を受けた人材が、世の中に存在しているのに、そういう人たちを採用しないのはなぜなのだろう。アメリカでは、（大学に残る人はそうでもないようだが、）企業に就職する場合、優秀な人は PhD 新卒の段階から高い給与が与えられる。もちろん給与面以外の待遇も良い。そのため、一部の企業にその頭脳が偏っている傾向があるように思う。CMU の Robotics Institute も異様なほど一部の企業に卒業生が流入していつている^[4.4.1]。日本企業もこれら世界一流の頭脳を採用するべきではないだろうか。

^[4.4.1]公開されている Robotics Institute の卒業生の現就職先を調べてみたら、順位は以下の通りとなった。

([Robotics Institute - People - Alumni](#); 2009 年 7 月 23 日現在)

組織	卒業生
CMU	19

NASA	12
Google	9
Microsoft	7
Intel	5
Epson	2
John Deere	2
Astrobotics	2
その他 民間	50
その他 大学・研究機関関係	44
未記入	9

研究体制の一案

人材の確保

「[研究者の気質](#)」の章で超一流の研究者に見られる気質をいくつか紹介した。はっきり言えば、これらの気質は全ての人に備わっているものではない。特に、負けず嫌いであることや理解力が高いというのは本当に会社に入ってから向上させることができるものなのか、疑問に感じる方も多いのではないだろうか。そのような人材が不足していれば、そういう人を雇うのが理に適っているように思う。

雇用に対する積極性で、日本企業は大きく負けているように感じる。アメリカのベンチャー企業社長がインターンでも月\$4000払っても良いと言うのを聞いたことがある。韓国のサムスンも積極的に訪米し、アメリカの大学にいる人材に対しリクルート活動を行っている。我々は大学のコンソーシアムに加盟するのは技術の取得が目的と考えているが、アメリカ企業は卒業生の取得も目的としている。大学同士でも、引き抜きが多発している。それに比べて日本企業はかなり消極的で、ライバル企業と仲良く、巨大な就職セミナーの1ブースで、学生が来るのを待っているだけである。しかもそこで期待している人材は、英語と日本語が両方話せれば充分という程度である。これで本当に世界を制覇できるのだろうか。

スポーツの例を見れば明らかであるが、10億円あれば年俸1億円の選手を10人集められるかというそういうわけではない。優秀な人材の数は限られているため、確保するためには熾烈な争いが繰り広げられる。また、ある程度以上の年俸になれば、必ずしも給料が多ければ良いというわけでもない。例えば、どのような仕事ができるのか、同僚は誰か、研究の自由度はいくらか、研究の予算は、入社することがキャリアアップにつながるか、様々な条件がある。企業はこれらをバランス良く満足させ、優秀な人材にとって魅力的な職場を提供しなければならない。[\[4.1.1\]](#)

CMUのような研究機関で働いていると、優秀な人材を確保することの好循環を目の当たりにすることができる。一流の人材を確保するとそれだけで、優秀な学生を集められる。優秀な学生を集めれば、再び一流の研究が発表できる。そして、優秀な学生が集まることは、実は優秀な教授陣を引き寄せる原動力にもなる。

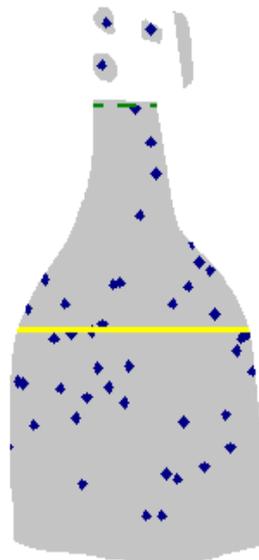
2007年にCMUは、DARPA（米国国防省）主催の自律走行車の競技であるUrban Challengeに優勝した。そのときのリーダーであるWhittaker教授に、チームのモチベーションを高める秘訣を尋ねたことがあった。彼によれば、それは必要ないとのことであった。チームのメンバーはそれぞれ自分の能力の高さを示そうという気概で一杯なので、何もしなくても良いとのこと。優秀な人材を登用すれば、マネジメントの負荷も軽減される。

[\[4.1.1\]](#) 終身雇用の重要性が叫ばれ、その考え方は理解できる。しかし、きわめて高い年俸で引き

抜いてきた超一流の研究者には終身雇用は必ずしも必要ないであろう。超一流であれば解雇されても転職先は見つかるはずだからである。

底上げよりも、開栓

日本の教育が優れているのは、落ちこぼれが非常に少ない点である。ひとつは、クラスの中で授業の理解に困難を示す子がいると思えば、説明のレベルを下げて、みなが理解できるようにしているからである。こうすることによって、クラスの理解レベルは底上げされ、結果的にテストでのクラス全体の平均点も向上する。この考え方は、仕事の場でも生かされ、日本がここまで成長できたのはこのおかげと言えるかも知れない。しかし、この考え方は工場や開発の現場では有効であろうが、研究所においても有効かどうか疑問がある。「[研究活動について](#)」の章の[図1.2](#)を思い出していただきたい。この図から分かるのは、底上げをしても研究成果の成功率は改善しないことである。また、底上げによって引き起こされる平均の向上も、成功率の向上には寄与しない。むしろ、効果がないのに底上げの労力を使っているのも、コストパフォーマンスは落ちることになる。研究所においては、働かない人を働かせるよりも、優秀な人材が働きやすい環境を用意する方が良さそうである。



もう少し詳しく説明したいと思う。品質管理に関しては工場の方が進んでいるため、他の部門の作業工程に関する管理ノウハウは、工場での管理法から借用することがある。ソフトウェア工学におけるプロジェクト管理法である CMM などは、思想的には工場の品質管理に似ている。下図は、工場における製品の品質を模式的に表したものである。個々の青い点が製造した個体を表している。縦軸はその個体の品質を表している。黄色の線が全個体の平均的な品質を表し、緑の破線は満たさなければならない品質基準を表す。

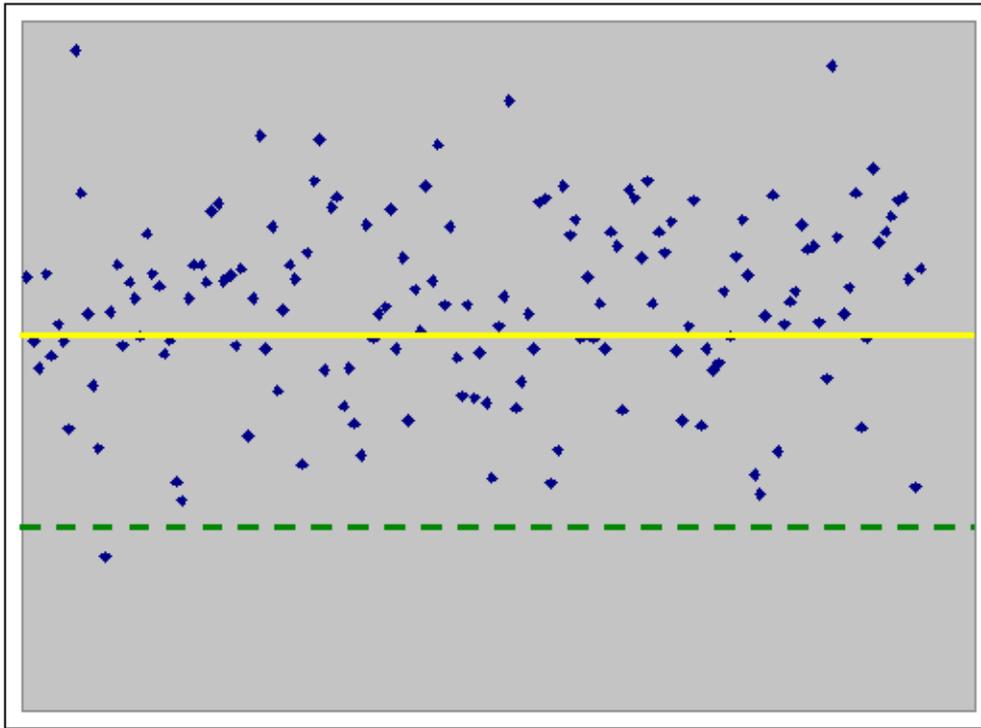


図 5.1 工場における製品品質

一部の例外的な製品を除いて^[*4.2.1]、工場で製造されるものはほぼ 100%が品質基準を満たさなければならない。基準を満たない個体が検査によって見つかった場合、その個体は出荷されない。もし多くの製品が品質基準を満たないことが分かれば、それは製造工程なり製品設計なりに問題があると見なされる。製造工程をどんなに改良しても品質基準を満たすことが少なければ、製品は世に出ないことになる。

ソフトウェア開発においては、一度開発したものは、ほぼ忠実にコピーされるので、製品に品質のばらつきはないと見て良い。そこで、ソフトウェアの品質管理では、そのソフトウェアの構成要素であるモジュールに注目することで行われる。つまり、[図 5.1](#)の例で言うと、個々の青い点は各モジュールを表すことになる。工場における製品個体と同じように、個々のソフトウェアモジュールは一人または複数人の開発者によって開発する。そして、各モジュールには品質のばらつきがある。ソフトウェア開発における品質管理とは、個々のモジュールとそれらのまとめ方が品質基準（緑の破線）をクリアするようにすることである。ここでの前提は、開発者一人一人が十分に注意を払えば、必ず品質基準を満たすことができるということである。^[*4.2.2]

工場での生産もソフトウェアの開発も、十分に注意すれば品質基準がクリアできるはずだという前提が同じである。^[*4.2.3] [図 5.1](#)の例で言えば、黄色の実線が緑の破線より上にあるということになる。この場合、品質基準をクリアする個体を増やすには、品質のばらつきを抑えれば良い。そのため、工場の現場においてもソフトウェア開発現場においても、作業を標準化し、作業員や開発者を教育する。結果的に、[図 5.1](#)の青い点の広がりが黄色い実線により近く分布するようになり、ほとんどの点が緑の破線より上に位置するようになる。

さて、研究の現場においてはどうか。もう一度「[研究活動について](#)」の章の[図 1.2](#)と同じ図を下図に示す。

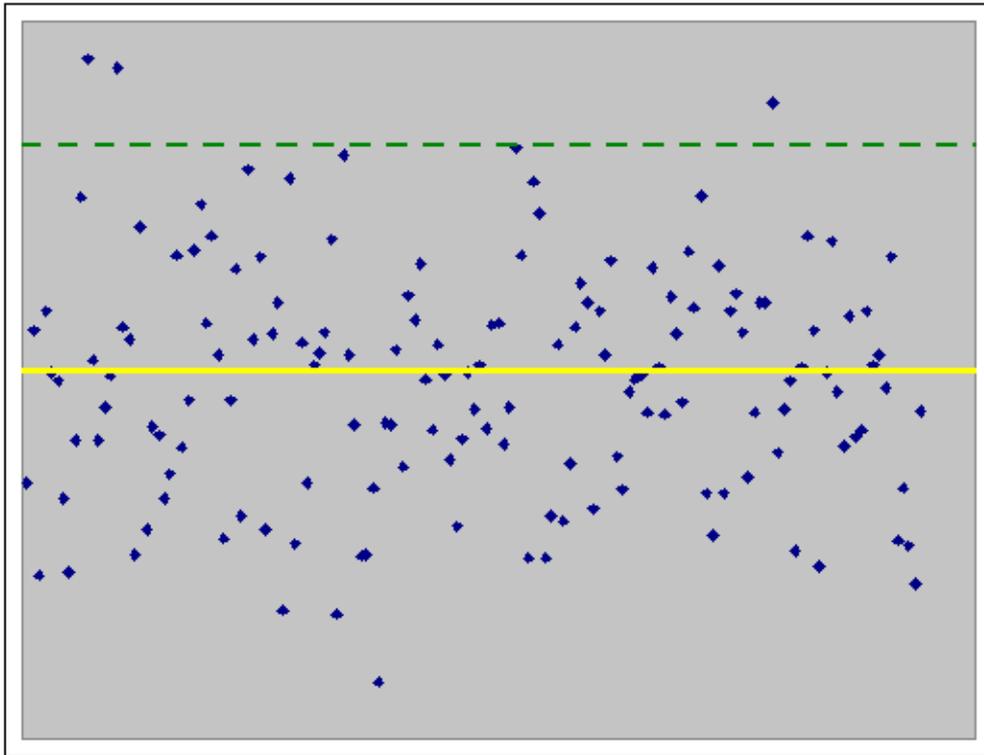


図 5.2 研究成果の模式図

研究の現場においては、上図のように多くの青い点が緑の破線の下に分布している。この場合、青い点のばらつきを押さえ込むとどうなるかという、緑の破線を越える点が減ってしまうことを意味する。生産現場の思想はソフトウェア開発現場において有効に活用できたかも知れないが、それをそのまま研究現場に持ち込むことは逆効果ということになる。具体的に言うと、作業を標準化したりすることが、ばらつきを押さえ込むということである。研究所において研究手法を標準化したりすることは、成果を上げる上では意図しない結果を招くはずである。

このように考えると、ソフトウェア工学などの「属人性排除」という考え方とは真逆の発想が必要である。つまり、個々の研究者の能力に極力依存した方法に移行するべきである。もう少し細かく言うならば、世界的なレベルの研究者を複数人招き入れ、その研究者らにはその研究者のやり方で研究をしてもらう。さらに、その研究者らの緩やかな指導の下に他の研究者が研究を進めるべきなのである。このようすれば、優秀な個人の能力に依存しつつ、全体の平均成果を上げることができるはずである。ここで重要なのは世界的に有名な研究者を複数人という点である。この世界的に有名な研究者は、一発屋であってはならず、複数の成果を出していなければならない。そうでなければ、必ずしも成果の出る研究アプローチを取っているとは限らない。また、複数人というのは多様性の確保の観点から必要な条件である。ひとりだけの意見では必ずしももう一度一流の研究成果が得られるとは限らないからである。

^[*4.2.1] 半導体製品の歩留まりは通常公表されないが、歩留まりの悪さを売値に反映させることで回収している。

^[*4.2.2] 生産現場やソフトウェア開発において、生産・開発スピードを考慮に入れると事態が複雑になってくるが、要点の分かりにくさを避けるため、ここではそのことに触れない。

^[*4.2.3]ソフトウェアにおいても属人性の排除は思ったほど効果がないという意見に賛同していないわけではない。

勤務形態

優秀な人材を生かすには、勤務形態にも工夫が必要である。特に「[凝り性](#)」の性格を生かす方法を考える必要があるのではないだろうか。現在、多くの企業で残業は上司に指示されて行うものとして定義されている。しかし、凝り性の人の特徴は、周りの人が期待するよりも自分に課す目標の方が高いというところにある。なぜ、上司が部下の成果を制限しなければならないのか。

まず、疑問に思うのが、残業規制である。残業規制は、凝り性な人と相性が悪い。満足できる前に仕事を切り上げなければならない日々が続くと、どうしても目標を下げるしかなくなってしまふ。これでは、レベルの高い研究はできないのではないだろうか。調子が良いときに一気に仕事を終わらせるということができないのも問題である。

これには複数の理由が挙げられる。そのひとつはコストである。いくら凝り性とは言え、残業ばかりをしてもらっては困るという話である。残業ばかりしては、支出が膨れ上がり、組織が赤字になりかねない。しかし、それは結果を出していなければという条件が付くべきではないだろうか。結果を出している社員は残業を許すべきであろう。これは単純なことのようと思われるかも知れないが、実は通常の勤務形態と逆のことであることに気付いていただきたい。通常の残業は、遅れを取り戻すために行われることが多い。残業によって遅れを取り戻せば、評価は通常通りで給与が保証され、残業をしている分だけ収入が高くなってしまっている。^[*4.3.1]

ただもうひとつ、深刻な理由がある。それは過労である。実は凝り性な人であっても、体力が付いてくるとは限らない。好きで仕事をしていても、体調を崩すことは十分にあり得る。会社としては、業務は命令しているという建前がある以上、従業員の過労死は会社の責任となる。

この問題を緩和する方法として、業務の進捗を自身で管理させる方法がある。実際、人に指示されて行う業務と、率先して行う業務とでは、ストレスが大幅に違う。言うまでもなく、自主的な業務の方がストレスが少ない。凝り性な人を重宝するような理想的な勤務形態は、すなわち自身で業務を管理し、管理者はその方向性を間違えないように、働きすぎないように管理する形態であろう。そしてもちろんすべての人が凝り性なわけではないので、凝り性な人を特別扱いにする必要が出てくる。その判定は、上司が行うと利害の不一致が起きてしまうため、上司以外の独立した専門家が行うことが必要となる。

^[*4.3.1]慢性的な残業については「[ゆとり](#)」も参照されたい。また、[McConnell \(1993\)](#)で引用されている研究によれば、慢性的な残業は組織の問題であって、必ずしも成果と結びついていない点が指摘されている。

最後に

以上、根底に流れる思想として進化論を選び、今まで学んできた研究手法について総括してみた。

ここで主張したいのは、アイデアの多様性を確保することが何よりも重要ということである。進化論の欠点としてよく指摘されることがある。「強いものが残る」という表現は同語反復（トートロジー； tautology）であるため、予測力(predictive power)に欠けるという点である。だから、進化論はダメだと一蹴するのは簡単だ。しかし、あえてここで踏みとどまって、ここから推論してみることができる。そもそも何が残るかなんてそう簡単に予測できるはずがない。それを前提とした上で、我々に何ができるのかを考えるべきではないか。自然界が取った対策は、多様性の確保であった。我々研究者も同じようにするべきである。多様性の確保とは、具体的に言うと、技術情報の流れを制御し融合を起こしやすくすることであったり、開発サイクルを早めたりすることである。

筆者が CMU に行って最も身に付いたと思うのは、実は技術的な知識ではなく根気であると感じている。渡米時に、なかなか新しいことにチャレンジできない時期があった。それは根気の邪魔となる感情があったためである。その中で最も邪魔となったのは「面倒である」という気持ちであった。労力を出し惜しみしていると、試せるアイデアは非常に限られたものとなってくる。我々研究者は、必ず成功する研究手法を求めようとしているところがある。しかしそんなものは存在しない。Silver bullet に過度に期待するのは止めよう。そして、努力を惜しむのを止めよう。うまく行かない方法を試すのは時間の無駄だという考え方がある。しかし、それはその経験から何も学ばないときである。より多くのアイデアを試し、その都度経験から学んでいけば、必ず成長があるはずである。成長なしに次の発明は出ない。このメモで、技術の連続性を主張したのは、この点を説明しようとしたからである。

大学での研究では、精度などの数値指標が良いものや、査読付き学会誌に採用されたものが、良い研究というように、研究内容を選別しやすいが、企業では指標がそれほど明確でない。実際に市場に出して売ってみないと、技術の本当の価値が分からないからである。このような技術内容の選別に関しては、あまり触れることができなかったため、今後の課題としたい。

冒頭でも述べたが、進化論的な発想からすると、本書で書かれたことをそのまま全社的に適用することは、多様性の確保の観点から望ましくないことが分かる。研究アプローチを厳密に標準化することは、すなわち研究組織の硬直化につながる。ここに書かれたことをヒントに読者の方々が自分の環境・組織に合った研究アプローチを構築することになれば、筆者にとっては至高の幸いである。

参考文献

- Basalla, G. (1988). *The Evolution of Technology*. Cambridge University Press.
- Berkun, S. (2007). *The Myths of Innovation*. O'Reilly.
(邦訳：村上(2007)「イノベーションの神話」オライリー・ジャパン)
- Brown, K. A. (1988). *Inventors at Work: Interviews with 16 Notable American Inventors*. Microsoft Press.
(邦訳：鶴岡(1988)「実録！天才発明家」アスキー)
- Constant, E. (1980). *The Origins of the Turbojet Revolution*. Johns Hopkins University Press.
- Dalal, N., & Triggs, B. (2005). Histograms of oriented gradients for human detection. In *Computer Vision and Pattern Recognition, 2005. IEEE Computer Society Conference on* (Vol. 1, pp.886- 893 vol. 1).
- DeMarco, T. (2002). *Slack: Getting Past Burnout, Busywork, and the Myth of Total Efficiency*. Broadway.
(邦訳：伊豆原 (2001) 「ゆとりの法則 - 誰も書かなかったプロジェクト管理の誤解」日経 BP)
- Jablonka, E., and Lamb, M. (2006). *Evolution in Four Dimensions: Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life*. MIT Press.
- Jarman, M. (2009). *Iridium satellite phones second life*. The Arizona Republic.
<http://www.azcentral.com/arizonarepublic/business/articles/2009/01/31/20090131biz-iridium0201.html>
- 金出 (2004) 「素人のように考え、玄人として実行する—問題解決のメタ技術」PHP 研究所
- McConnell, S. (1993). *Code Complete*. Microsoft Press.
- McConnell, S. (1996). *Rapid Development*. Microsoft Press.
- Rosenbloom, R.S, and Spencer, W.J. (1996). *Engines of Innovation: U.S. Industrial Research at the End of an Era*. Harvard Business School Press.
(邦訳：西村 (1998) 「中央研究所の時代の終焉—研究開発の未来」日経 BP)
- Schwartz, E. I. (2004). *Juice: The Creative Fuel That Drives World-Class Inventors*. Harvard Business School Press.
(邦訳：桃井 (2006) 「発明家たちの思考回路 奇抜なアイデアを生み出す技術」ランダムハウス講談社)