

# 金融技術革新と エンジニア

東京工業大学 今野 浩

## \* 第2次金融工学ブーム \*

金融ビッグバンの中で、いま2度目の「金融工学ブーム」が始まったようである。不発に終わった10年前の第1次ブームを体験した筆者は、今度こそは本物かと期待する一方で、熱しやすく冷めやすい国民性を考えては、このブームも一時的なものに終わるのではないかと懸念している。

我が国のエンジニアの中には、“150兆円のGNPを生み出す製造業が健在である限り、たかだか25兆円規模の金融ビジネスが外国企業の支配下に置かれたとしても、それほど心配するには当たらない”，と言う唐津一氏（東海大学教授）を支持する声が多いことを知らないわけではない。しかし10年、15年はともかくとして、30年後、50年後も我が国の製造業の地位は安泰であろうか。恐らく、この問いに確信を持って回答できる人はいないであろう。筆者は、製造業の将来に最も強い期待を抱いている者の一人であるが、不確定な未来に対して、分散投資によってリスクを回避する必要があることは、ポートフォリオ理論によって明らかにされた事実なのである。

この解説記事の目的は、金融工学の世界でいま一体何が起きているか、またなぜにエンジニア達がこの分野に参入しなくてはならないか、について説明することである。そこでまず最初に、1998年に徳間書店から翻訳が出た、「大破局」<sup>1)</sup>に記されている不愉快極まる話を紹介することから始めよう。

この本は、モルガン・スタンレーという米国の投資銀行に勤めていた著者（フランク・パートノイ）が、さまざまなデリバティブ取引で、一生使い切れないほどの資産を蓄積したあと大学にポストを得て、自らの過去を“反省”し会社を告発した、というきわめてアメリカ的な著書である。

さて問題は、その第10章「日本マネーをむしり取れ!!!」である。ここで著者は、彼らが我が国の銀行を相手に行った、損失隠しのためのデリバティブ取引を克

明に説明している。筆者はこれを読んで、著者の臆面のなさに脱帽する一方、この取引に加担して、結果的にモルガン・スタンレーに100億円近い収益を献上した、日本の銀行マンの無責任さに戦慄を覚えたのである。

銀行は本来、余剰資金を持つ人達からお金を預かり、信用創造によって生み出されるその数倍の資金を、資金不足部門に供給することを通じて、産業の発展を促す役割を担うビジネスである。その際には当然のこととして、資金回収を確実にするため、銀行は貸出先の将来性や信用リスクの大きさを見極め、利率や貸出額の設定を行うことが要請される。しかしこれをきちんと行おうとすると、貸出先の経営に関する精密な分析と、企業を取り巻く社会、経済情勢に関する緻密な分析が必要となる。

異端の経済学者飯田経夫氏は、近著「経済学の終わり」<sup>2)</sup>の中で、「このような困難な役割を担っているのだから、銀行員の給料が自分たちより多少高めに設定されていたとしても、それは認めてもよい、とこれまでは考えてきた」、と述べた後、土地や株式といった担保を取りさえすれば、どんな怪しげな企業にもお金を貸しまくったバブル期の経営や、また優良企業からも資金を引き上げようとする現在の貸し渋り経営を厳しく糾弾している。

実際に、長い間我が国の銀行は本来の業務を放棄し、政府の保護と規制の中で巨額の収益を手にしたばかりか、無責任体制の中で、国民の資産を食い潰していたのである。

## \* 第1次金融工学ブーム \*

ところが、我が国の銀行が旧態依然たる経営を続けている間に、世界の金融ビジネスは、数理工学と情報システム工学を極限まで利用して商品開発やリスク管理業務を行う、ハイテク・ビジネスに変貌していたのである。

我が国の金融機関が、「金融の工学化」という事実を知ったのは、1980年代後半、潤沢な資金を武器にウォール街に進出したときのことであった。ここで彼らは、工学

的ツールを用いて商品開発、資産運用に取り組むロケット・サイエンティスト達の活躍を眼にして衝撃を受け、理工系学生の大量採用に踏み切った。ピーク時の1989年には、東京大学機械系3学科の卒業生の半数以上が、また東京工業大学では学部卒業生の30%が金融御三家（銀行、証券、保険）に参入した、という事実をまだ記憶されておられる方も多いであろう。

本来これらの人々は、金融新商品の開発や、資産のリスク管理や適正な運用、資産の証券化（後述）など、さまざまな先端的業務を担うことを期待された人材であった。ところが、間もなくやってきたバブル崩壊の中で、経営者はせっかく採用した人達の活動の場を次々と切り落としていったのである。いずれ金融工学が必要になることは事実だとしても、当面は政府の規制と保護の中で生きていけるのだとすれば、不要不急の先端分野への投資は後回しにしてもよいと考えたのであろう。

こうして、10年前の第1次金融工学ブームは呆気なく終わるのであるが、この時代の努力がすべて無駄になったかといえ、そうではない。経済学者やハードコア・エンジニア達の冷やかな視線の中で、一部の研究者は、将来を見据えてこの分野の研究への取組みを開始したのである。その活動を支えたのは、我々の先輩や仲間達が研究してきたさまざまな数理工学的手法が、諸外国の金融ビジネスにおいて本格的に利用されている、という事実であった。

たとえば、我が国の研究者が、米国に次ぐ実績を上げてきた数理計画法の諸技術が、資産運用の現場で広く利用されているという事実は筆者達を勇気づけたし、デリバティブの基礎理論であるブラック＝ショールズ公式が、我が国の数学者伊藤清氏が生み出した、確率微分方程式の理論をもとに組み立てられたという事実は、有力な確率論研究者がこの分野に参入する原動力となった。また株価変動を分析するには、さまざまな統計理論を駆使することが必要とされるが、厚味のある統計学者の中の有力な人々が、この分野に新たな土俵を設定し、活発な研究活動を開始したのである。

これらの少数ではあるが有力な研究者たちは、オペレーションズ・リサーチ学会、応用数理学会、金融・証券計量・工学学会（略称ジャフィー）などを足場に、10年以上に渡る地道な研究活動を行ってきたのである。この過程で米国との差は徐々に縮まっているが、研究者の層の厚さと投入資金の大きさからいって、まだまだ格差は大きい。

そしてここにやってきたのが、日本版金融ビッグバンである。1998年の外国為替管理法の改正に始まり、2001年3月までに日本の金融市場を完全に自由化する、という壮大な構想である。実力のある企業にとっては、待ち望んだチャンス到来であるが、弱小企業は思いもかけぬ大嵐に襲われ、内外の有力企業との提携に生き残りを模

索している。

しかし、1986年にサッチャー政権が実施したビッグバンの際に、単独で生き延びた英国企業はただ1つに過ぎなかったという、いわゆるロンドン市場の「ウインブルドン化」が、東京市場でも繰り返されることを心配する専門家は少なくない。先に紹介した唐津氏は、「日本の金融機関が、米国企業の子会社になろうとも一向に構わない。むしろ有力企業には、外国企業が今以上に喜んでお金を貸してくれるだろう」と述べているが、筆者はことはそれほど簡単ではないと考えている。

外国金融機関が狙っているのは、我が国の国民が戦後50年間の努力によって蓄えた、1200兆円の個人資産であって、彼らには日本の産業の発展を支えるという発想は乏しいのである。短期的収益を重視する米国の金融機関が、日本市場で日本の将来を考え、銀行本来の任務を果たしてくれる保証はないのである。

日本国民のための金融システムの構築が必要とされる所以である。

### \* 理工系大学と金融工学 \*

グローバリズムがキーワードとなる中で、上のような主張はローカルな発想だと批判されるかもしれない。しかし、実はこれまで金融工学を軽視してきたエンジニアの中にも、最低限でも“防衛的”金融工学は必要だという声が上がっている。最初に紹介した「大破局」のデリバティブ取引に見るとおり、相手が金融ハイテクを持って「日本マネーをむしり取ろう」とするならば、我々も防衛のためにハイテク開発に努力する必要があるというのである。

未曾有の金融不況とビッグバンの中で、人々の危機感に後押しされて、遅まきながら我が国でも理工系大学がこの分野に乗り出す動きが始まっている。その代表例は、本年4月に東京工業大学に設立された「理財工学研究センター（Center for Research in Advanced Financial Technologies）」である。これまでの10年以上に渡る実績をもとに、本格的に先端金融工学の研究を行うための組織である。また、東京工業大学に負けてはならじと、東京大学も本年4月に、先端技術研究センターの一部を切り離して「先端経済工学研究センター」を設立し、金融工学を最重要領域と位置づけているし、京都大学も2000年以降、同様な組織作りにより乗り出す模様である。そこでこの機会に、「理財工学研究センター」について、少々紹介させていただくことにしよう。

このセンターは、経営工学専攻の中で、数理計画法を用いた資産運用理論（ポートフォリオ理論）の研究と、応用確率過程論を用いた数理ファイナンス理論の研究を行ってきたグループが中心になって作られたものである。教授2名、助教授2名、客員教授1名という小さな組織であ

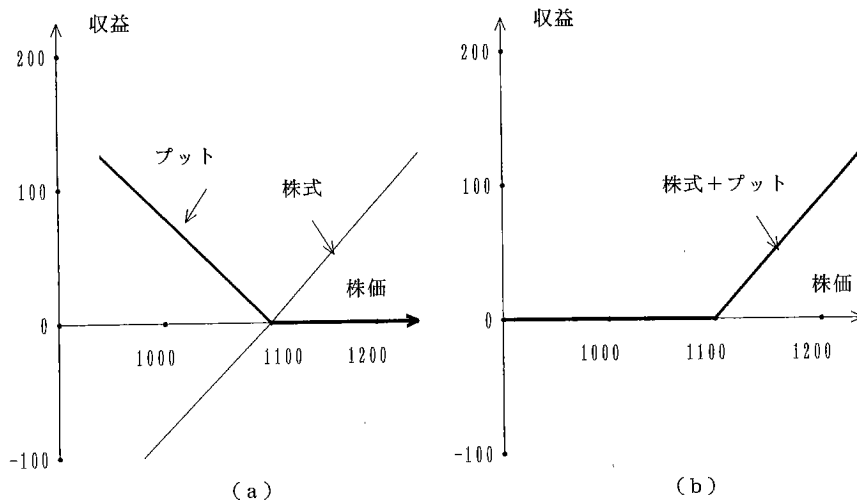


図-1 株式とプットの組合せ

るが、経営工学専攻以外にも電気・情報系グループの支援が得られたという事実は、特筆に値するであろう。

これからの金融ビジネスは、情報ネットワーク抜きには成り立ち得ないと考えた我々は、文部省への概算要求にあたって「電子金融工学」をこのセンターの重要研究領域と位置づけ、その専門の先生方に協力を依頼したのである。すると、さる長老格の先生が、「金融は“ゲインのある流れ”を扱う分野である。だとすれば、我々のメソドロロジーと深いつながりがあるはずだ」、「これからの金融は、電子システム上での取引に重点を移すことになるだろう。そのとき、認証や暗号理論、さらにはネットワーク技術が中心的役割を果たすはずだ」、と理解を示し、同僚達の説得にあたってくださったのである。電気・情報系の有力グループの支援は、理財工学研究センターが計画している、産学協同プロジェクトを実施する上で、きわめて大きな力となるはずである。

我が国では、理工系の有力な研究者は、従来からの研究領域で十分に面白いテーマを抱えており、研究資金もそれなりに確保されているため、新規分野に参入する動機づけが薄いといわれている。これに比べて浮沈の激しい米国では、研究費と優秀な学生を求めて数学や経営工学をはじめとして、さまざまな分野のエンジニアが金融分野に新規参入している。

そして、最近になってコーネル、スタンフォード、コロンビア、カーネギー・メロンなどの、有力な大学では、ビジネス・スクールとは別に、Master of Science in Financeのプログラムを設立し、学生の育成に力を入れている。この状況は米国だけにとどまらない。たとえばケンブリッジ大学のIsaac Newton Institute、チューリッヒ工科大学の「金融工学センター」、オーストラリア国立大学の数学科、さらにはKAIST、北京大学なども金融工学を重要分野と位置づけ組織作りを行っている。

やや遅きに失したとはいえ、「理財工学研究センター」や「先端経済工学研究センター」の設立がもたらすアナウンスメント効果によって、我が国でもさまざまな分野の有力な研究者がこの分野に参入されることを期待したいものである。

### \* オプションの価格付け \*

ここから先しばらく、編集委員会のリクエストに応えて、金融工学の代表的研究テーマを紹介することにしよう（細かい話に関心のない方は、この部分を読み飛ばして最後のページに進まれるのがよいかもしれない）。

その第1は、いま世間を賑わせているデリバティブ（金融派生証券）の代表、「オプション」の価格付けに関する研究である。オプションというのは、「特定の商品（将来のある時点で一定の金額で売ったり買ったりする権利）」のことをいう。たとえば「ソニー株を3カ月後に1万1千円で売る権利」は、ソニー株を原資産とし、行使価格1万1千円、満期3カ月のプット・オプションと呼ばれる。このような商品が必要とされるのは、投資家が将来の不確定性に伴うリスクを回避するためである。そこで以下では簡単にこの仕組みを説明しよう。

現在1株1万1千円のソニー株100株を保有しているK氏は、将来この株の値上がりを期待しているが、その一方で不測の事態が生じて損失を蒙ることを心配している。ここでK氏が、上で説明したプット・オプションを100単位購入したものとしよう。もし3カ月後にソニー株が1万1千円を下廻り1万円になっていたとすると、このプットを買ったK氏は、契約に基づき権利を行使して100株を110万円で売れば、結果的に手持ちのソニー株の10万円分の目減りを補償することができる。

一方、ソニー株が行使価格を超えて1万2千円になって

いるときは、プットの権利を放棄すれば、株価の値上がり分10万円をそのまま手に入れることができる。プットは株を売る「権利」であって、売る「義務」はないからである（図-1参照）。

では、このプット・オプションの“適正”な価格は、どのように決定されるのであろうか。もしこの権利が100円程度で手に入るのであれば誰でも購入したいと思うだろうし、5000円もするならば誰も手を出さないであろう。では売り手も買い手も納得する公正な価格は存在するか、またそれはどのように決まるのだろうか。

この問題に明快な答えを与えたのが、米国のフィッシャー・ブラックとマイロン・ショールズの2人の研究者であった。ちなみに、ブラックは物理学と応用数学を修めた金融工学者、ショールズはソフトウェア工学出身の金融経済学者である。彼らと同僚のロバート・マートンは、伊藤清博士が創設した「確率積分」の理論を用いて、この問題を解くことに成功した。1970年代はじめ、すなわちシカゴのオプション市場が開設されるしばらく前のことであった（ショールズとマートンは、この業績で1997年度のノーベル経済学賞を受賞している）。

ブラック＝ショールズ公式と、その導出方法については、たとえば文献3)などを参照にさせていただき、これがきっかけとなって、より複雑な商品の設計と価格付けの研究が開始された。現在では、プット・オプションとは逆に、資産を一定価格で購入する権利であるコール・オプション、原資産が一定範囲からはみ出した途端に価値がゼロとなるノックアウト・オプション、多種類の通貨の平均値を対象とするバスケット・オプションなど、さまざまな商品が市場に出回っている。

ところが、権利行使の条件が複雑になると、価格決定のためにはより複雑な境界条件の下で、（非線形）偏微分方程式を解くことが必要となる。しかしほとんどの場合、ブラック＝ショールズ式のような解析解は求まらないので、計算機を用いた数値計算に頼ることになる。デリバティブの分野に、物理学や電子工学、計算機科学、ORなどの「数理」に強い人達の参加が不可欠になったのは、このためである。

また数値解法に時間がかかりすぎる場合には、元々の株価の動きをもとにシミュレーションを行って、オプション価格を計算する研究も盛んである。いわゆる疑似乱数や低食い違い列を用いた数値シミュレーションであるが、この分野で我が国の数学者が世界の最先端をゆく成果を出していることは注目に値する。

#### \* 資産運用理論 \*

資産運用の基礎理論は、依然として1952年にマーコビッツが提案した、平均・分散モデルである。投資の収益率の期待値と分散を指標として、一定の収益率を確保し

つつ、リスクの最小化を図るというこのモデルは、長い間理論家と実務家の支持を得てきたものである。

しかし、デリバティブのような複雑な商品や、市場における込み入った制約条件に対応するために、モデルの修正や拡張が必要となっている。分散に替わる下方リスク指標の下での最適化や、取引コストや税金の取扱いなどがその代表例である<sup>4)</sup>。そこで以下では、住宅ローンを証券化した「モーゲージ担保証券」という証券を紹介し、その運用に伴う超大型数理計画問題について説明しよう。

超低金利に支えられて、いまマンション販売が絶好調だという。そしてこれに伴い、金融機関における個人向けの住宅ローンも大幅に伸びている。住宅ローンは、金融機関にとっては比較的安全な貸出先であるが、長期に渡って資金を貸し出すため、金利変動に関して大きなリスクを負うことになる。10年間固定金利の場合、多くの銀行は現在3.4%程度の利率で貸し出しているが、契約期間中に市場金利がこの水準を超えて損失が発生する可能性がないわけではない。

そこで金融機関は、デリバティブなどを用いて、この金利リスクをヘッジ（回避）することを試みるのであるが、究極の金利リスク回避策として考えられたのが、モーゲージ担保証券（住宅ローン担保証券）である。たとえば、10年満期固定金利住宅ローン1000億円分を貸し出した金融機関が、早期にこの資金を回収するため、この債権をもとに10年満期の1口1万円の小口証券1000万枚を発行し、市場で売り出すのである。証券保有者に対しては、償還される元本と金利支払い分から手数料を差し引いたクーポン（利息）が支払われる。これが、パススルー・モーゲージ債券である。

ところが、ここには住宅ローン借入れ側の満期前支払い、というややこしい問題が付随している。たとえば、将来の金利上昇で見越して3.4%の10年固定金利契約を結んだK氏は、いつまで経っても金利上昇性向が見られないときは、契約を解除して、（別の銀行の）変動金利契約に乗りかえるかもしれない。また退職金の支払いなどがあったときには、ローンを一括返済する可能性もある。そこで、ある時点でたとえば50億円分の満期前支払いが行われた場合には、銀行はその元本をあらかじめ定められた比率で債券保有者に払い戻し、この時点で50億円分の債券を消滅させるのである。

では、一体このモーゲージ債の市場価格はどのように決まるのだろうか。満期前支払いがなければ、債券価格Pはこの債券から得られるキャッシュ・フローの現在価値として、

$$P = \frac{C_1}{1+i_1} + \frac{C_2}{(1+i_1)(1+i_2)} + \dots + \frac{C_T}{(1+i_1) \dots (1+i_T)}$$

で与えられる。ここで $C_t$ は第 $t$ 期のクーポン支払い、 $T$ は償還までの期間、 $i_t$ は第 $t$ 期に適用される市場金利（フォワード・レート）である。

ところが、将来の市場金利  $i_t$  ( $t=1, \dots, T$ ) が不確定である上に、 $C_t$  も満期前支払い次第で変化する。このため、正確な価格評価には、将来の金利を推定するためのモデルや、満期前支払いモデルを組み立てることが必要となる。ここで登場するのが、確率過程論を用いたさまざまな金利変動モデルと、統計的手法を用いた満期前支払いモデルである。ここでこれらのモデルの詳細を述べる余裕はないが、かなりやっかいな問題であることはご理解いただけるであろう。

モーゲージ担保証券は、住宅ローンから得られる収益の大変を証券保有者に還元するものであり、もともになる貸付が比較的安全であることから、高い収益が見込まれる商品である。実際、米国ではすでにこの市場は400兆円近くに達している。また我が国でも、来年からこれらの商品が市場に出るものと予想されている。

上で述べたパススルー・モーゲージ証券は、モーゲージ担保証券の中では最も単純なものである。米国ではこれ以外に、金利部分と元本部分を切り離し、金利部分のみを対象とするインタレスト・オンリー証券や、元本のみを対象とするプリンシパル・オンリー証券、クーポン・レートが他の経済インデックスと連動して変化する可変クーポン証券、あるいはこれらのキャッシュ・フローを別の資産（たとえば国債）から得られるキャッシュ・フローと組み合わせた複合証券など、実にさまざまな証券が販売されている。

このような商品は、上手に設計されていれば多くの顧客を引きつける一方、内容に魅力がなければまったく売れない場合もある。実は、冒頭で紹介したモルガン・スタンレーと日本の銀行の間で行われたデリバティブ取引は、このモーゲージ担保証券の複雑な仕組みを利用して、誰にも分からないように、見せかけの利益を生み出すための契約であった。

これらの商品は、単独でもそのリターンとリスクの計測が難しいものである。そしてこれらの商品を株式や通常の債券と組み合わせたポートフォリオの最適化には、一層面倒な計算が必要となる。個々の商品のリターンの間の相関関係を調べなくてはならないからである。

最近、このような問題を解くために、確率計画法を用いたモデルが開発され、その結果導かれる超大型数理計画問題を解くために、大がかりな計算が実施されている。

### \* 最後に \*

以上、編集委員会のご希望にほぼ沿う形で記述を続けてきたが、最後に本誌の読者諸氏が感じておられるであろう率直な疑問にお答えすることにしよう。

問： 金融工学には、電気工学におけるキルヒホッフの法則や、マクスウェルの方程式のような基本原理はあるのか。

答： Yes. この分野は

1. 合理的意思決定者と期待効用最大化原理
2. 完備市場と無裁定条件

という、2大原則をもとに組み立てられており、学問として強固な基礎を持つものである。1は、皆様もおなじみのフォン・ノイマンの大原則である。一方2は、市場において「0以下の初期投資で期末に必ず正の利益を得るような機会は存在しない」という原理で、金融商品の価格付けはこの原則をもとに行われている。

問： 金融工学は、モノを生み出さないゼロサムゲームの世界ではないのか。

答： No. 金融工学は顧客の要求を満たすべき商品を生産したり、投資家の効用（満足度）を改善するなど、他の工学分野と同様の役割を担っている。

問： 金融工学は、ヘッジ・ファンドの経営に見るように、一部の富める者のための「強欲工学」ではないのか。

答： Yes & No. 米国の金融工学にそのような面が見られることは事実である。しかしその一方で、金融工学は年金資金の適正な運用や、投資家のリスク管理などの分野で、国民全体のベネフィットに貢献するという大きな役割を果たしている。

問： 重要性は分かったとして、何で私が現在研究している分野の仕事をやめてまで、この分野に参入しなくてはならないのか。

答： すべてのエンジニアがこの分野に参入すべきだと言っているわけではない。金融工学の頭脳部分は、少数の突出した才能を持つ人達が担うべきものであり、人海戦術が機能するようなものではないからである。ただし、金融工学を支えるさまざまな技術、すなわちネットワーク技術などについては、その分野の多くの人々が支援することが必要となるであろう。

問： いまから金融工学に力を入れたとして、日本はこの分野のトップに立てるのか。

答： 40% Yes, 60% No. 現在のところ否定的な見方が多いことは事実である。また40代以上の世代がこの分野に新規参入しても、大きなパワーにはなり得ないという意見も根強い。しかし若い世代はそうではないかもしれない。またネットワークの普及によって、21世紀の金融ビジネスは根本からの仕切り直しが行われる可能もある。大変革の時代に、優秀な人材が実力を発揮することができれば、我が国の金融ビジネスが世界のリーダーになる可能性がないとは言いきれない。

#### 参考文献

- 1) フランク・パートノイ：大破局，徳間書店（1998）。
- 2) 飯田経夫：経済学の終わり，PHP新書，PHP研究所（1997）。
- 3) 今野 浩：実践数理決定法，日科技連出版社（1997）。
- 4) 今野 浩：理財工学II：数理計画法による資産運用最適化，日科技連出版社（1998）。

（平成11年6月7日受付）