



4. 講演『経済物理学最前線：実務とアカデミーの接点』

高安 秀樹 氏（株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所）

紹介をいただきましたソニーコンピュータサイエンス研究所の高安です。トップバッターを仰せつかりましてちょっと責任を感じています。はじめに、先ほども物理学は汎用性があるというなお話がありましたけれども、私なりの物理学に対するイメージと、それから私の現在の専門である経済物理学の最先端の話題をいくつかご紹介します。最後にちょっとだけ物理学の役割をお話しさせていただきたいと思います。

キャリアがいろいろ変わっているという話でしたが、私自身もかなり変わっていて、物理学で学位をとったあと、神戸大では地球科学科に所属し、アメリカに客員で行っていた間は応用数学、それから東北大学では情報科学、10年前に東北大を辞めて今はコンピュータサイエンス研究所、民間企業に來ています。

民間の研究所ではあるのですが、ここは自由に好きなように研究をやらせてくれるということで、研究のやりやすさだけからいうと大学よりも書類を書かなくていいというメリットもありますが（笑い）、それなりにアウトプットは出していかなければいけないという厳しさもあります。このあたりはあとで質問されればお話をします。

まず、物理とは、ということを考えます。一般の大部分の人は物理というのは物質科学だと思っていると思うのです。ここにいらっしゃる方は物理出身で必ずしもそうではないと思っている人も多いと思うのですけれども、辞書的な意味からいっても実は「物」というのは牛偏に勿れで、勿れというのは漢和辞典で見ると短冊で開いて風で揺らいでいることらしいのです。そこから転じて「模様のはっきりしない牛」「いろいろなもの」「あらゆるもの」と、昔の人は発想が豊かだったようで、結局、「物」というのはあらゆるもの、人も含む森羅万象を指す言葉です。それから物理の理のほうは王偏に里ですけれども、王は宝石、それから里は田んぼや畑のあぜ道です。そこから筋道を立てた考え方ということになり、結局、あらゆるものに対して筋道を立てて考えるというのが「物理」の言葉の意味であるということになります。物理は物質科学ではないのです。

欧米の研究者に聞くと、フィジックスというのはほとんどサイエンスと同義語だという人が多いのです。また、江戸時代にはフィジックスは窮理学と訳されていました。どういうわけか明治になって物理学という言葉になってしまって、ちょっとニュアンスが狭くな

ってしまったのを残念に思っています。

私は最近、物理学を経済現象に応用する研究を 10 年ぐらいやっているわけですが、そのような研究にも先駆者がいます。誰しもが物理学者と思っている人が実は経済学をやっている例です。16 世紀の大航海時代にヨーロッパで新大陸が発見され、大量の金銀が持ち込まれ、すさまじいインフレが発生しました。大航海時代は天文学が航海に必要な学問として、非常に実用的な学問として発展していたわけですが、そのときにインフレの基本理論、これは経済学としても一番最初のインフレ理論になるのですけれども、貨幣の供給量が多すぎるとお金の価値が下がるという、今でいえば当たり前の考え方ですが、それを最初に言ったのがこの人、コペルニクスです。コペルニクス自身は教会で金庫番のようなことをしていて、インフレが起こって資産が目減りしたことを説明する必要に迫られたようです。

それからもう 1 人、17 世紀末にインフレ対策をして金本位制を実質的に導入した物理学者がいます。金本位制というのはその後約 300 年、世界のスタンダードになって、ニクソンショックで 1971 年に金とドルの交換が廃止されるまで続いていたわけですが、これを事実上導入したのがニュートンです。ニュートンは年をとってからは錬金術ばかりやっていたという悪い噂が多いのです。実際、硬貨を作る総責任者である王立造幣局長官になってからは積極的に錬金術をやっていたようです。ニュートンの弁護をするわけではありませんが、ニュートンの気持ちになるとたぶん、当時は金と銀の両方が通貨として使われていたのですけれども、金のほうが銀よりも化学的に安定していて、より通貨としてふさわしいと考えたようです。その結果、イギリスがいち早く金本位制を導入して、ほかの国がそれに追随する。そのお蔭でイギリスは非常に経済的に繁栄したのです。ニュートンがサー・ニュートンになったのは造幣局長官としての仕事が評価されたからで、決して微積分を考案し、古典力学を作り出したからではないのです。

コペルニクスとニュートンときたら、科学革命の立役者として残るのはガリレオとケプラーです。実は、この 2 人もいろいろと文献を見ていると、当時の経済に関連したことをしています。ガリレオはサイコロの確率を論文にしています。ケプラーもサイコロの動きを研究していて、サイコロの動きといえどもその背後には何かの、今の言葉でいう物理的な法則があるはずだというようなことを書いています。そのころサイコロを使ったギャンブルが盛んになっていたようですが、偉い科学者はその時代のニーズに応じて何でも考えるのだということです。

ちなみに、今から考えると、例えば錬金術にしても天動説にしても非常に奇異に感じるのですけれども、当時の人たちは1000年以上もの間、大地は動かなくて空が動いている。その果てには神様の世界があると信じていて、陸地の部分はアジアとヨーロッパとあって、その終りのところに海があって、その先はもう何もないというように思っていたのですね。そういう中で小さな船に荷を積んで、星を見ながら自分の位置を確認して、少しずつ少しずつ、大地の果ての滝から落ちて死んでしまうかもしれないと恐れつつ航海をしたという時代です。

これはガリレオが惑星を見ている絵ですけれども、当時、星の世界の向こうは神様の世界でした。そこを覗き込むこと自体が非常に不謹慎なことだったはずですよ。実際、当時、ガリレオは望遠鏡でいろいろ観察したのですけれども、それを真似する人がほとんどいなかったのです。

それから当時の物質観も今とは非常に違っていて、これも1000年以上ずっと信じられていた4元素説。物質は火と水と土と空気、その4元素からなっていて、それらを結合させる「愛」と分離させる「争い」があって、それで世の中が動いているのだと。今考えると火と水の間の愛というのは何だろうと思ってしまうわけですけれども、当時はそれが常識としてみんなが思っていたわけですね。この考えに基づけば、金を作ろうというのは当然のことで火と水と土と空気を上手に組み合わせ、うまく争いを愛で調節すれば、金だってできるはずだということです。

実際に金を作ろうとする過程に生きる技術としては、アラビアのほうから来た錬金術が当時唯一の科学的な方法であったわけです。ですから、金と銀のどちらがより安定かというようなことをやろうと思ったら錬金術をやらざるを得なかったのです。『錬金術師ニュートン』という本も出ていて、読まないといけないかなと思っているのですが、まだ読んでいないのですが、錬金術というのはそのままラボアジェの時代にいくと化学になっていくわけですから、今、我々が思うよりはずっと科学だったはずなのですね。ちなみにラボアジェというのはフランス革命のときにギロチンで処刑されてしまいます。余談ですが、ラボアジェの奥さんは、その後、有名な物理学者のランフォード卿と結婚しているのですが、ランフォード卿は、大砲の穴をくり抜くための実験をしていて、いくらでも熱が出てくる現象に興味を持ちました。当時は熱素という考え方が主流で、熱とは熱素の量で決まると思われていたのですけれども、ランフォード卿は大砲をくり抜く作業でいくらでも熱が出るということを実験で証明し、摩擦熱でいくらでも熱が生み出されるということ

から熱素の考え方に疑問が呈されました。

力学は元をただすと天文学で、それは大航海に必須の学問だったわけですが、熱力学も社会のニーズから生まれてきています。1つは蒸気機関で、これは炭鉱労働者が非常に過酷な労働をやっていたのを何とか助けようというために発明された機械です。それから気球ですが、これは、シャルルの法則で有名なシャルルが実用化し、自分自身で遊覧飛行をしています。そして、ナポレオンはそれから10年もしないうちに兵器にして戦争で使っています。あと、ランフォード卿が研究した大砲も戦争が社会のニーズです。

ちなみに先ほど出てきたガリレオは世界初の温度計の発明者でもあって、今、お店に行くとき色のついた錘が気温や気圧によって上がったり下がったりするしゃれた温度計がありますが、あれがガリレオ式の温度計です。また、ガリレオは弾道計算もしていて、大砲の研究もやっています。

現代の温度計にもつながるアルコール温度計はメジチ家が開発しています。メジチ家そのものは金融、外国為替が本業で莫大な資産を得ています。外国との貿易に伴う送金のシステムを構築したわけです。

ちょっと雑談が長くなってしまいましたが、物理の中で一番カッコいい量子力学も社会のニーズから生まれています。第一のきっかけは量子力学の教科書に出てくる黒体輻射、暗い箱の中にちょっとだけ穴を開けて、そこから出てくる光を観測するという話で、教科書では非常に抽象的に書いてあるのですけれども、ようするに温度計を入れても測れないような高温の温度を光を使って測ろうというわけです。それは実は、鉄を作るための高炉内の温度を測定したいという社会的なニーズがあったのです。鉄は国家成りの時代です。光で温度を測定する技術が国家の力に直結していたのです。それで光をよく観察してみたら、その中から原子の構造が見えてきたというわけです。量子力学に対するもう1つの大きな社会のニーズはやはり軍事力で、端的に言えば、原子爆弾です。

それでは現代社会のニーズはどこにあるか？それがわかればこれから発展していく分野が自ずと見えてきます。私なりの強引な理論なのですが、社会のニーズを考えると一番簡単なのは、10年、20年前の社会と比べてどこが変わったかをみればわかります。ニーズがあればそれなりにどんどん変わるわけですから、変わったところに社会のニーズがある、という理屈です。そのように見ると、携帯電話、インターネット、仮想社会、このあたりは20年前には存在もしていませんでした。それから、GPS、カーナビ、このあたりも20年前にはなかったし、電子通貨・企業通貨、こういうのもほとんどありま

せんでした。POSシステム、これはスーパーなどで買物をしたときにピッピとやるもので、20年前にもあったかもしれないのですが、今は非常にシステム化しています。それから一般にはまだあまり気がつかれていないのですけれども、金融市場の情報量というのは、ここ10年、あるいはこの3年ぐらいで非常に変わっています。これに関してはあとで詳しく解説します。

このどれを見ても、その背後にあるのはコンピュータ技術です。いわゆるムーアの法則で、1年から1年半ぐらいで機能が倍になるというのがこの40年ぐらいずっと続いていて、まだこれから10年、15年ぐらいは技術的に見えているのでたぶん続いていきます。物理的に見えれば半導体技術が背後にあるわけです。

ここに挙げたものをずらっと並べますと、キーワードとしては情報とお金が共通項として出てきます。別の言い方をすると、情報とお金が、今の世界を動かしているということが言えると思います。

ちょっと昔の大砲が重要だった時代には、戦争の強い国が世界を動かしていたのです。だからこそみんな一生懸命に大砲を作って国を強くしていたわけです。ところが今は、大砲を作っても意味はないし、この10年ですごい兵器がたくさん発明されたということはありません。それよりは実際に世界を動かしているのはお金と情報です。こうした社会の実情を見ていくと、このあたりに新しい科学の源泉があるということがわかります。

私なりの物理学の歴史観なのですが、17世紀ぐらいに先ほどの4人組が科学革命を始めて、そして実証的に実験しながらひとつひとつ事実を重ねていくという今の科学のスタイルが確立しました。それが時間をかけながら広い分野に広がっており、コンピュータの誕生で我々の視野がさらにいろいろなところに広がっているというわけです。私自身、お金と情報が現代社会のキーワードだと思って、そちらを中心に研究していますが、研究スタイルは物理学だと信じています。

私も物理学科の出身ですが、自分が受けた教育の中で、これはすごく不足していて、もっと学生の頃に教えてもらえればよかったなと思っていることがあります。その1つは物理学者の魂です。技術や理論は本に書いてあるので必要に応じて勉強できますが、そうではなくて、科学者がどうやってその時代を生き抜いてきたかというようなことはぜんぜん教わる機会がありませんでした。当時どのような時代背景で社会がどうだったのか、なぜそのときにそうした研究テーマを選んだのか、実際に研究した核心部分は本に書いてあるのですけれども、その発見したあとその人はどうなったか、それによって社会はどう変わ

っていったのか、などです。そういうことをもう少し知っていると、物理学を学んだ上でどのようにそれを自分の人生に活かしていけばいいのかということを考えるヒントになると思います。物理学をずっと教わったけれども、そのあたりは教わっていないし、今もそうしたところを教えているところがあるのか、疑問です。魂を受け継がずに技術だけを身に付けた人は、その技術に社会のニーズがなくなったときには路頭をさ迷ってしまいます。

それからもう1つ、すごく重要だと思うのは、科学の方法自体の有効性です。意外と、これを体系的にきちんと教わっていないのです。当たり前のことですが、ちゃんとデータを見て、それを実証して、論理をつくって、仮説を立てて、また検証をしてと、そういうプロセス自体は非常に有効なわけですが、それが発見されたのはニュートンたちの科学革命で、それ以前はこうした方法自体がなかったわけです。我々が学校に行き勉強していると、知らず知らずのうちにやっているのですけれども、こうした方法自体が非常に有効であるということをもっと明示的に教える時期があってもいいのではないのでしょうか。もちろんこれは大学ではなくて、小学校・中学校でもいいのかもしれないのですけれども。それが欠如しているので高等教育を受けた人がいとも簡単に奇跡を信じる新興宗教などにはまってしまうことになるのだと思います。独立に複数の人が検証する実証主義が科学の根本であることを理解していれば、偏った考えにのめり込む危険性を自分で理解できるはずだからです。

あと欠如しているのは他の学問分野との比較です。物理を勉強しているとそれが当たり前になっているのですけれども、他の分野ではそうではないこともたくさんあります。私が今やっている経済学も研究の方法自体・論理展開がかなり違います。そのような他の分野のものの考え方を知っておくことも、境界領域に進む人には有益です。

物理帝国主義という言葉が恥ずかしがる人が多いのですが、私は物理帝国主義というのは科学の実証主義を広めていくことに他ならず、恥ずかしがることではなくて、どんどん広げていっていいのだと思っています。

本物の科学というのは今まで社会を変えてきているし、逆に、社会を変えるような潜在的な可能性がない研究は、本来は趣味の領域でやるべきものと思っています。国からお金を出してもらおうような研究は社会を変えるような潜在的な可能性があるものでなければいけないと思います。

ここからちょっと専門の話に入ります。経済物理学のざっとした背景を話させていただきたいと思います。

経済物理学という研究は 1990 年代から始まってきたものでして、市場の価格変動に関する研究、あるいは企業の成長に関する研究などが始まりです。あとでどのようなものか説明しますが、単なる統計学だけでなく、データに対しては実証性、普遍性を吟味し、その背後に動力的な視点、統計物理学的な視点、あるいは非線形物理学的な視点が付加されている点が今までと違うかなと思います。

経済学と物理学は遠くて近い関係です。経済学の元祖ともいえるアダム・スミスは、これはアメリカが独立した頃の話ですけれども、いわゆる需要の力、供給の力というのを想定して、それらの力で世の中が動いているという考え方を提案しました。その背景には世の中には目に見えない力があるという万有引力の大成功があります。いろいろなものが非常に精密に時計仕掛けで動いているという世界観があつてはじめて需要と供給、目に見えない力がお金の世界でも支配しているのではないかというモデルをつくったのです。

そのあと 19 世紀後半、熱力学が完成してくると平衡という概念が出てきます。Equilibrium という単語は、物理では平衡ですけれども経済学では均衡と訳されて、同じ意味合いです。エントロピーが最大になるという物理の定義、あるいは最小作用の定義は、経済学では効用最大というかたちで応用されています。どちらも経済学の基本的な考え方です。

それからあとはランダムウォークです。これも物理の非常に基本的な考え方で、アインシュタインは 1905 年に導入しているのですけれども、実はその 5 年前に、バシェリエという数学者が市場の価格の変動をランダムウォークモデルで解析して、今でいうオプションのようなものの研究をしています。

あとは物理のほうから経済を見るのではなくて、逆の経済のほうから物理のほうに反映してきたものとしてフラクタルという考え方があります。フラクタルは何年か前に物理のほうでも非常に流行ったのですが、拡大しても縮小しても同じように見えるという性質です。カリフラワーのように一部分の小さな房の構造が全体の構造と同じになっているようなものがフラクタルなのですけれども、物質科学には広く応用されています。一番最初はマンデルブロが、市場の価格変動を時間スケールでどんどん拡大しても同じように見えるということに気がついてフラクタルという概念が生まれ、それが物質科学に応用されたということです。

あともう 1 つ、物理と経済で共通してでてくるのがベキ分布です。これはフラクタル分布といってもよいのですけれども、経済学者のパレートという人が所得の分布はベキ乗の

分布になっているということを 1800 年代に示しています。その後、数学者のレヴィが数学として安定分布という研究を 1930 年代やり、そのあと、1960 年代になると相転移現象の研究が物理で流行ってきて、そこでベキ分布が注目され、フラクタルの大ブームが 1980 年代に起こってきて、様々な身の回りの現象がみんなこのようなものだということが見えてきています。フラクタルの研究などを通していろいろノウハウをつくった物理学者が経済に興味を持って研究をしてみると、経済の様々なところに物理と同じようなものが見えるということで、今、研究が進んでいるわけです。

このパレートのベキ分布は観測事実なのですけれども、不幸な歴史を辿っています。ファシズムの時代には、この分布を根拠に低所得者は社会の悪であると決め付けられました。たくさん低所得者が社会のレベルを下げているというのです。一方、共産主義者はほんの少数の高所得者が利益を独占していることこそが社会を悪くしていると出張しました。どちらから見てもベキ分布が世の中を悪くしているのだということで、科学ではなく思想的な方向に応用され世の中を惑わしてしまっただけです。

語源の話をもたさせていただきます。経済学は英語ではエコノミクスですが、語源としてはエコというのは家で、ノミーはルールです。ですから英語のエコノミーというのは家の決まりというのが語源です。日本語の経済は中国語の世を治めて民を救うという意味の経世済民という言葉から来ています。どちらにしろお金ではないということが重要です。もともと経済という学問は英語で見ても日本語で見てもお金の学問ではなく、現代的に言えば、狭くて貧しい地球上で人間が平和に暮らすためのルール作りというのが経済なのです。

今まで経済が実証科学になりにくかったのは、ひとえにデータが足りなかったからで、年次データやせいぜい日次データを使っているいろいろと解析をしていると、結局、シナリオが先あって、それと矛盾しないようにということしかできなかったのです。けれども、最近 10 年ぐらい前から経済情報の量が圧倒的に増えてきて、データ量は 1 万倍から 100 万倍に膨れ上がってきています。それだけの膨大な量のデータがあると、普通の自然科学でやるようなデータに基づく帰納型の研究を実施することができます。誰も文句を言えないくらいのきちんとした形で経験則を示すことができるのです。それを説明する理論を作って行って、さらに予測したものに対して調べるという普通の自然科学と同じように研究ができるわけです。

経済は実験ができないから物理と違うというような言い方もあるのですが、例え

ば宇宙物理だったら宇宙は実験ができないわけで、観測することしかできません。シミュレーションは経済でもできますし、さらに言えば、例えば日銀の介入などは、市場に巨額のお金を入れたらどうなるか、という一種の実験です。そういう意味では、私自身の印象としてはデータが十分にあるので、経済現象は物理学になると思っています。

もう一度繰り返しになりますけれども、例えば 10 年間の為替の変動を基に円ドルレートの研究をしたいというときに、年次のデータだと 10 個しかデータポイントがありません。それに対して日次データでは土日はないのでだいたい 2500 個になり、100 倍ちょっと精度が上がります。今はこれがティックデータで、取引枠全部のデータが手に入ります。ざっというと 10 年間で 2000 万ポイントぐらい出てきます。そうするとこの違いというのは、肉眼と光学顕微鏡と電子顕微鏡ぐらいの差になるわけです。そうすると肉眼や光学顕微鏡では見えなかったものが電子顕微鏡になって初めて見えるということは物質だったらたくさんあったように、経済学でもそれが実現しています。

実際の金融市場の現場で働いている人たちの間では 10 分ひと昔という言葉があって、10 分前のデータはもう古いからいらぬというセンスで捉えています。実際に最近インターネット経由なら無料で為替や株のデータも手に入りますけれども、だいたい 10 分、20 分遅れたデータです。ところが本当に今のデータを手に入れるためにはかなりお金がかかります。月に 10 万円とか出して契約しないと本当に今のデータは手に入らない。その代わりそれだけお金を払うと世界中の市場のあらゆるものがリアルタイムで手に入るというかたちになっています。

10 数年分の為替変動のグラフを 1 万倍ぐらい拡大しても、全体と似たような変動が見えます。フラクタル性が成り立っているわけです。ただ、さらにそれよりももう少し細かいデータがあります。例えば 10 分ぐらいのスケールになってくるとちょっと様相が変わってきます。非常にギザギザしてきたものになってきて、大きなスケールの動きとは違うのです。

例えばこれはほぼ 1 時間の為替の変動で、下はその 1 時間の 3 分ごとに刻んで、3 分間での平均の取引の間隔です。つまり、この時間帯では取引の平均時間がだいたい 5 秒に 1 回の割合で取引されている。このあたりだと 15 秒に 1 回ぐらいの割合で取引されているということになります。それで何が見えるかということなのですが、レートが安定しているとそうすると間隔がだんだん伸びていく傾向があります。つまり、市場価格が変動しないときはディーラーもちょっと一休み。それでこのように価格が動くと急に間隔

が短くなってあわただしくなるという様子が見えると思います。ディーラーは 24 時間ずつと、あるいは勤務時間ずつと働き放しのわけで、ちょっと価格が安定したら一休みして、また動くとパーッと働いている。そうした様子が見えると思います。つまり、このようなデータは無機質なデータなのですけれども、実はこれを見ているだけで、その場でディーラーが何を考えているか、かなり読み取れるということです。

こうした新しい分野の大きな狙いを説明します。最初に言いましたように、コンピュータの能力は年々どんどん高くなっています。横軸が年号で、縦軸にコンピュータの扱える情報量を対数でプロットするといわゆるムーアの法則からパソコンがこのような傾きで成長し、スーパーコンピュータも同じ傾きで成長しています。それに対し、為替のデータは先ほど 2000 万ポイントと言ったのですけれども、実はそれは 20 メガバイトで、パソコンに楽々に入るサイズです。地球上の全人類の数が 100 億としてもこの 10 ギガバイトのレベルです。今、パソコンもテラバイトに容量になってきていますが、地球上で出てくる全経済データを合わせても 10 テラか、そのオーダーです。そうすると近い将来はパソコン 1 台で地球上の 1 日の経済データが全部入るくらいの容量があるのです。スパコンはもうとっくに容量としてはそのレベルを超えています。有史以来の全経済データも扱えるくらいの量になっているのです。

コンピュータはデータ容量も重要ですが、最も重要なのはそのデータを解析する技術です。そこをやっつけようというのが経済物理です。

たくさんデータがあるといろいろなことが見えるのですけれども、例えば市場価格を見ていると 1 日に 1 万回ぐらい変動します。価格差の分布がどうなっているか見ると、ベキ分布になっています。非常に大きな変動がかなりの頻度で出てくるということです。世界中のほとんどどの市場を見てもこうした大変動が出てきます。

これはほぼ 1 週間のデータなのですけれども、為替が変動している中で上位 5% だけの大きな変動だけをつなぎ合わせたものと、残りの 95% の小さな変動だけをつなぎ合わせたものを比較しています。これを見ていただくとわかるように、上位 5% の大きな変動をつなぎ合わせただけで、ほぼ全体の動きが再現できるということがわかります。つまり、市場を捉えるためには、95% を占める小さな変動よりは、むしろ 5% の例外的な大きな変動がどうやって起こるのかをきっちり押さえることが重要なのです。

細かいことはちょっと省きますが、いろいろわかってきたことの中の 1 つの事例としては、例えば市場価格が何かの原因でちょっと上がったとき、数分遅れてそれを追隨するよ

うな働きが出てきて、さらに 20 分から 30 分ぐらいの間に元に戻すような働きがあります。つまり価格が上がりだすと、早めに買って置いて上がったら売ってしまおう。そうした動きがデータからもちゃんと見えるようになってきています。

このような解析をシステムチックにやっているのは、私も共同研究をしている東工大の高安(美佐子)研究室です。こうした市場の変動の背後には市場のポテンシャル力があって、それが引力のときには価格は安定しているのだけれども、斥力になると価格が不安定に大きく動くと考えます。そのような物理的なモデルにしたがってデータ解析を行い、ポテンシャルの変化によって市場の変化をリアルタイムで捉えることができるようになり、金融市場の現場でも使われるようになって来ています。

欧米では今、物理出身のポストドクは金融市場ではひっぱりだこで銀行やヘッジファンドに就職し、自動取引システムの開発をやっています。今の話でわかるように、単純な確率論だけでは抜けていた物理的な効果を一瞬でも速く見つけて取引するというのが今の金融市場の最前線なのです。今、自動取引が為替の市場でも 3 割くらいを占めるようになっており、ネットワークの通信時間である 100 分の 1 秒未満の差で勝負がつくということで、市場システムを運用している会社のすぐそばに金融機関は支店をつくるようにすらなっているのです。本当にタッチの差で取引できるか、できないかが決まるのです。そのあたりはもはや経済学者は何もやることはなく、むしろ物理学者がやることは山積みです。

これとはスケールの違う話ですが、コペルニクスのところでも話題にしたインフレに関してもちょっとおもしろい話があります。インフレというと今の世の中では関係ないような話でのように思うかもしれませんが、実はジンバブエという国では今ハイパーインフレ真っ盛りで、物価がものすごい勢いで、超指数関数で上昇しています。そうしたハイパーインフレも記述するようなものを経済物理では研究しており、秒単位の市場価格の方程式をくりこむことでマクロなインフレを記述する手法もできています。

あとは企業の所得です。日本中の企業の所得の分布を観測すると、両対数プロットでほぼ直線的になることが確認できます。実は過去 30 年遡ってもほぼ同じプロットが実現しています。こうしたベキ分布になることは自明なことではなくて、きちんとした説明が必要です。外国の企業でもほぼ同じことが確認されており、みんなが勝手に会社を作って経営しているのですけれども、全地球的な目で見ると、なぜか会社の大きさというのはベキ分布になっていて、その指数もほぼ同じというすごい安定した法則があります。

あとは銀行間のネットワークです。銀行間のお金の流れがデータとしてありまして、一

般では公開されないのですけれども、日銀などでこうしたデータ解析をしています。そういうネットワークを観測するような研究も盛んに行われていて、例えば仮想的にある銀行が潰れてしまったときに、その影響がどのように伝播するか、というような研究もやられています。こういうところでも物理学者の観点は役立っています。

最近、日本中の実質上全てともいえる 100 万社の企業がどこの企業と取引しているかというデータがあり、アカデミックな研究対象となっています。これは、行列としてみると、100 万×100 万の要素を持ち、それだけで1テラくらいの容量が必要です。こういうデータを解析することによって本当の社会をつくっている企業のつながりが見えてきます。今は、このような行列をまともに扱えるコンピュータは地球シミュレータしかないので、地球シミュレータで解析を進めていますが、10 年後にはパソコンでも同じような計算ができるようになると思います。小さな会社でも、日本中の企業ネットワーク構造を考慮した上で経営戦略を立てたりすることができるようになるのです。

それからもうひとつ欠くことができないのが POS データ解析です。今、ほとんどのお店での販売データはコンピュータに取り込まれ、どの商品がいついくらで売られたかというすべての記録が保存されています。データはどんどん溜まっていくのですけれども、それをきちんと解析する手法がまだ確立していません。ざっといって情報量としてテラバイトオーダーの情報量をどうやって分析していくかという問題になります。網羅的に解析することから科学的に間違いないことが発見されれば、それは世界中の小売業に影響を及ぼすことになるので、社会へのインパクトはかなり大きなものとなるに違いありません。

ほかにもおもしろいデータがあります。例えばイタリアでは全自動車の 1% に無線データ付きの GPS が付いて、これは保険の関係らしいのですけれども、そうすると、いつエンジンをかけてどこを走ってどこに行ってエンジンを切ったかという情報が入ります。そうすると例えば都心部では平均 4 キロメートル程度の指数分布、つまり、エンジンをかけてから切るまでの平均走行距離が 4 キロというようなことがわかってきています。例えば環境問題で将来、自動車を減らしたいというようなときには、こうした経験則は非常に重要になるはずで、そのような研究をしているのも物理学者です。

さらに、韓国では、今、実質 100 円以上のお金の流れはすべて税務署に報告されるシステムが実現しています。これはどういうことかということ、クレジットカードでお金を払うと税金が 10% 安くなるということで、子どもでもクレジットカードを使うようなかたちになっています。おもしろいのは日本と違って、そのカード事務を全部税務署でやっている

ということです。それで結局、税務署は帳簿をごまかすことができなくなったので収入が増えたのですが、かといって、このルールに文句を言える人はいません。帳簿のごまかしをやっていたのにできなくなって損をしたとおおっぴらに文句を言うことができないからです。

日本でこれと同じことをやろうとすると、おそらくものすごい反発があると思います。韓国では国民総背番号制だし、指紋も管理されています。ただ、このようなデータ解析をすれば本当の国全体のお金の流れが全部見えるわけですから、これまでとはぜんぜん質的に違うレベルの経済学ができると思います。

このように、これまでデータが見えなくて勘と経験で実務をこなしてきた社会現象が、膨大なデータに裏づけられた形の実証科学になり、物理帝国の領土が大きく広がる時代が目の前にまで来ているのです。原子の発見から DNA の発見に至り、生命現象が物理帝国と連結したのと同じような規模の大変革が起こるのは時間の問題です。

最後にさっとお話ししたいのは、私自身が今ソニーという民間企業で行っているもう1つの研究です。それは半導体工場で歩留の改善の研究です。非常に工学的な地味なものに聞こえるのですが物理としてもおもしろいことがいろいろとあります。半導体というのは何百の工程で作るものなのなのですが、今は全部コンピュータ化されて、プロセス処理は自動化されています。そこから出てくるデータもほとんどコンピュータに吸い上げているのですが、ざっと言いますと装置を記述するための温度や圧力といったパラメータが1万個程度あります。また、途中の工程をチェックする物理的な検査項目が1万個ぐらいあります。そして最終的なチェック項目が100項目ぐらいあります。要はその最後の100項目全部通るようにするには1万個のパラメータをどうしたらいいか、途中の検査項目をどのように考慮するか、という問題です。しかも、全工程を完了するのに2、3ヶ月かかるので、結果を見てのパラメータ修正は一刻も早く行う必要があります。特に、物理としておもしろいのは、本来、ウェーハ上のチップは全て同一になるようにして作っているのですが、個々の特性はかなり大きくばらつくのです。統計学やオペレーションリサーチなどの分野の工程管理法は標準的に使われているのですが、全く不十分なのが現状です。物理学者の目から見れば、どの工程でどのような理由でどの程度のばらつきが発生するのかを物理的に解明できれば、制御まではあと一歩ですが、そこまで踏み込んだ解析にまでなかなか進まないのです。その最大の原因は、工場の現場に物理学者魂を持った人間が足りないことにあると感じています。

大企業の大量生産の工場では、どこでもおおよそ歩留まり 1%の違いが月に 1 億円程度の利益の差を生じます。歩留まりが低いということはそれだけゴミを作っていることにもなるので、環境問題からも歩留まりは重要です。詳細はまだ発表できないのが残念ですが、物理学の目を持っていないと解明できないような未解決の問題が現場には沢山あります。私もこの研究をやるまでは、学生を教育するわけでもなく、自分の趣味のような物理の研究に対して民間企業から給料をもらって申し訳ないという気持ちがありましたが、歩留まりの研究を始めて、もう既に生涯賃金分以上にお返しができたと思っています（笑い）。若い物理学者にも是非チャレンジしていただきたい分野です。

最後のまとめになります。物理学の法則というのは、仮説をつくったり、実験による精密な検証をして、あらゆる反例を排斥して、数十年から 100 年くらいかけて作り上げられてきています。経済学に関していうと、仮説の段階だけで法則という名前が付いているのが現状です。例えば、需要・供給の法則は教科書の最初のほうに書いてありますけれども、十分なデータに基づいた形でその法則が正しいことを実証した本はありません。というのは、物理学の常識でいえば、この理論は仮説の段階のまま衆知になっており、十分な実証がないのです。そのことは経済学者も認めていることで、9月の物理学会で経済物理学シンポジウムがありましたが、そのときに、物理学の法則と肩を並べられるくらい間違いない経済法則はありますかという物理学者の問いに対して、「コペルニクスに始まるインフレの法則はいつも成り立つので法則と言って差し支えないが、それ以外には物理のレベルで法則といえるものはない」との答えでした。経済学としては誰でも知っている法則でも、データをきちんとみてその法則の成立する条件をきちんと明確にする、というような研究も十分に立派な研究になるのです。インターネットは人間の社会活動を観測するための顕微鏡のような役割があります。お金の流れも、人の発現も行動も全て記録が残るようになってからです。観測ツールができればそこから実証科学が生まれてくるのは必然ですから、今後このような分野はどんどん大きくなっていくだろうと思います。

今お話したことでだいたい話は尽きているのですが、物理学のポスドクが企業でできることについて少しだけ補足します。企業には、いろいろな形のデータがたくさんあります。そういうものを解析して、モデル化して、意味づけして、応用して、と、物理学者にできる研究はいくらでもあります。ただ、そのとき、物理学だけでは足らなくて、コンピュータを使う情報技術と統計学の基本的な知識が必要です。後は、物理学者魂があり、十分な質と量のデータがあれば物理になります。

ただ、企業側にまだあまり受け入れる準備ができてないのも事実です。物理学者、特に学位を持っている人を受け入れることにはかなり慎重です。だから入ってもいろいろストレスはあるし、せっかくの発見も秘密保守のために論文にできないようなこともあります。そういうものはあるのですけれども、物理学者魂を持って挑んでいけば、おもしろいことはいくらでもできると思います。

○司会(小林):どうもありがとうございました。ちょっと時間が押し迫っているのですが、質問を1つ2つお受けしたいと思います。

○Q:すばらしいお話をありがとうございました。私などはぜんぜんそういうことはできないのですけれども、すばらしい可能性があるように確信をして、すばらしい説得力のある話だったと思います。質問していいのかどうかわからないことを聞かせていただきますと、最初のほう、金融関係、為替の話、そういうことでいろいろなことを分析されて、こういうものが良いとわかると、実は原子爆弾に対して物理学者がやったのと同じぐらいの危険なキーを押してしまうのではないかと、私はそのぐらいインパクトがあるのではないかと思うのです。つまり、経済物理学というものを、その中の物理学として見ると非常におもしろいですね。だから、昔の話でいうと原子爆弾を作ったときにそんなにインパクトがあるとは思わなかったけれども未知への探求で作ってしまった。そういうことをやってしまうと、気がつかないうちに我々の社会がある企業によって支配されてしまう、そういうことすらあり得るのではないのでしょうか。例えば為替レートの話があって、例えば社会を変えないと物理学ではないというのは非常にインパクトがあることですが、為替レートの何とかかというのを解明したときに社会を変えるかということ、結局それで何もモノは作らない。にもかかわらずマネーゲームをすることだけお金が活躍するようなことをしてしまうと文化がなくなる。例えばそういうことすら考えられる気がしたのですけれども、ここで聞いていいのかどうか、あとで何か一言あれば。

○高安:為替のことに関していえば、今、コンピュータによる自動取引が流行っているのですけれども、これは確かに問題だと思います。国と国の通貨の交換率を決めるのにコンピュータプログラムが決めていていいのかという問題があるわけです。おそらくこうした競争があと10年、20年と続いたあとでは反省が出てきて、それではもう一回、そもそも為替レートはどうやったらいいのか、あるいは世界通貨をつくってしまったほうがいいのか。そういう議論になってくると思うのです。

だから本当は、さらに物理学者だったらその先を研究していくのが一番いいと思うので

すね。本来、為替レートはどう決めるべきか、あるいは世界共通通貨をつくるのだとしたらどのようなものにすればいいのかという議論をすることがすぐには評価されなくとも長い目で必要になる研究だと思います。

○坂東：経済学には歴史を踏まえたうえでの価値というものがある、それに応じて研究をしている面がありますね。でも経済物理学という場合は、客観的法則を探求するということで進んでおり、目標が違ような気がするのですけれども、そのあたりの新しい考え方というか、それを経済学者はどう思っているのですか。

○高安：やはり良心的な経済学者は、少なくとも社会を良くすることを目的にしていると思うのです。それに対して今の経済物理学はそういうことはあまり考えていなくて、ともかくデータの中にある法則性を見つけて、それがどうしたらいいかをやろうという、おっしゃるように、ちょっと表面的な取り組みではあると思います。

○坂東：どちらを向いているのかわからないと思うのですけれども、要するにあまり目的が価値にあると本当に事実を認識することが難しいと思うのですけれども。

○高安：おっしゃるとおりで、結局、自然現象でも自然法則をきちんと捉えるからこそ応用ができるわけなのですけれども、社会現象でもまず何が起こるってしまうのか、それから制御できるのはどこまでなのか、そのあたりをちゃんとデータから見ていかない限り、やはりどんなに議論をしても空論になってしまうわけです。そういう意味では、まず今、見えるようになってきたデータから何が成り立っているのか、どこまでが制御できて、どこから先は法則もないどうしようもない世界なのか、そのあたりを明確にすることが大切だと思います。次の目標設定はそのような過程からおのずとでてくるのではないのでしょうか？