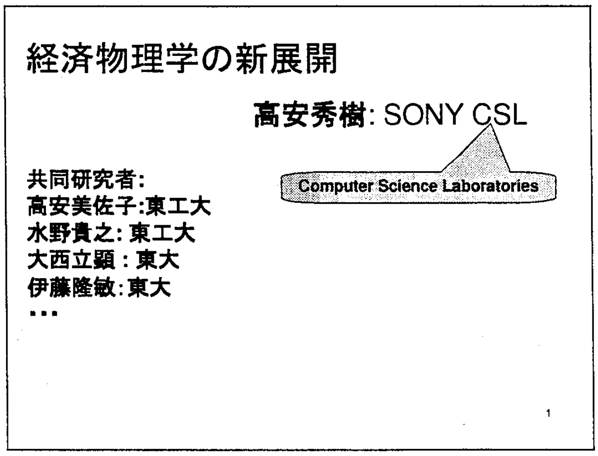
経済現象に潜む物理法則を探して

ソニーコンピュータサイエンス研究所　高安 秀樹

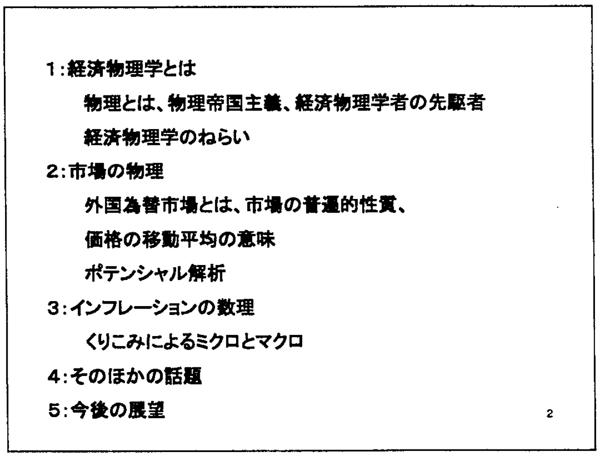
村瀬：それでは定刻となりましたので，テーマ6「物理学の広がり」ということで，環境物理学及び経済物理学のセッションを始めさせていただきます．私はこの座長を勤めさせていただきます，基礎研の村瀬でございます．よろしくお願いします．

では最初に，ソニーコンピュータサイエンス研究所の高安先生に「経済現象に潜む物理法則を探して」というタイトルでご講演いただきます．高安先生は，先ほどちょっとおうかがいしましたところ，もう20年ほど前から，この分野を開拓されていまして，最近は基研研究会も開催されるようになって，かなりポピュラーになってきているのですが，パイオニアの口から，直に経済物理学の醍醐味をお話いただければと思います．どうぞよろしくお願いします．

話をする機会をつくっていただきまして，どうもありがとうございます．大貫先生と久しぶりにお会いでき，学部のときの授業をとても楽しく受けさせていただいたことを思い出します．もう30年近く前になってしまいましたが．



[Slide 1]



[Slide 2]

[Slide 1]　物理の視点から，私は20年ぐらい経済現象を研究してきていますけれども，今日は「経済現象に潜む物理法則を探して」ということで，その中のわかりやすい話題と，それからごく最近の動向を紹介させていただきたいと思います．

まず共同研究者の名前を挙げてあるのですけど，多分，物理系の方は，名前を見てもぴんとこないと思うのですが，この伊藤隆敏先生という方は，去年から毎月1，2回，顔合わせ的にミーティングをやっていて，昨日も実は会ったんですけれども，この9月から，安倍内閣の経済財政諮問会議メンバーというのに入られたのです．この会議は総理大臣が議長をやって，残り10人が全員揃わないと開けない，非常に重い会議なのです．毎月2，3回開いていて，直接，国の政治を背負っているお仕事になって，ミーティングの時間もなかなか持ちにくくなってきています．

[Slide 2]　今日の内容なんですけれども，まず経済物理学とはということから話します，ごく一般的なこと．それから本題に入りまして，市場の物理ということで話します．それから最後にインフレーションの話，その他の話と．

お昼ご飯を食べたすぐあとですし，できるだけ軽く聴けるようなかたちで，式の部分は飛ばすようなかたちにしています．

まず「物理とは」ということで，偉い物理学者の先生方がたくさんいるところで，ちょっと恐縮なのですが，この「物」という言葉，これは物質ではないわけです．辞書的に言いますと，「牛」と「勿（なかれ）」という字で，「勿」というのは吹き流しなのです．吹き流しが風でゆらゆらして，よく見分けられない．で，牛がよく見分けられないということで，模様のはっきりしない牛，まあ，結局こういうものが「物」です．本来の意味です．そういうところから，昔の人は，すごく哲学的だと思うんですけど，模様のはっきりしない牛，それからいろいろなものを表して，ついには人間も含む意味で森羅万象を「物」というというふうに，辞書に書いてあります．「人物」というときも，これも「物」じゃなくて，やっぱり人間なわけです．ですから「物理」の「物」そのものは，もともと物質じゃないということを，まずちょっと．経済な話をするので，させていただきました．

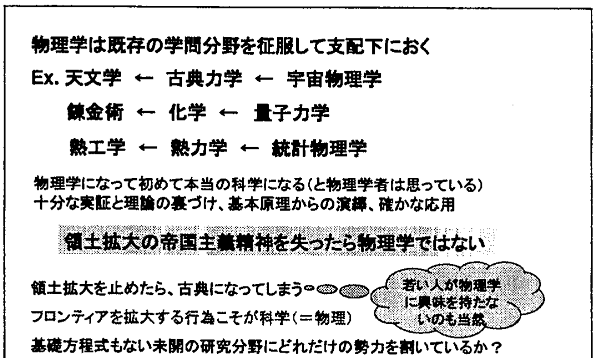
それから「理」なのですけれども，「理」の王偏の部分は，こういう宝石をつなげたもので，この「里」という字は田んぼの土であぜ道がまっすぐ．結局，宝石の筋目で，もともとはこういうものです．そこから転じて，筋道を立てた考え方というふうに，古代の人は非常にこういうイマジネーションが素晴らしいと思います．

ですから言葉の意味からいっても，「物理」というのは，ものの学問じゃなくて，万物に対する筋道の通った考え方そのものを表すものであるということを，ちょっと言っておきたいと思います．

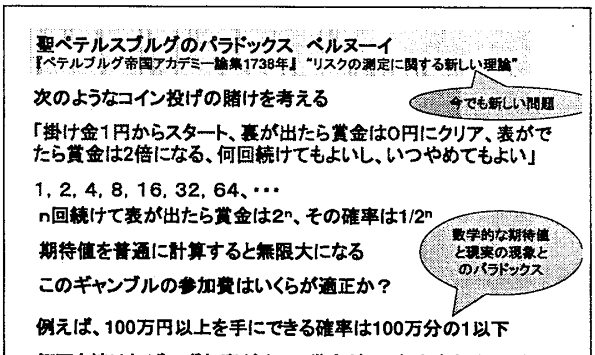
英語の「Physics」もそうです．これも欧米人に聞くと，「Science」とほとんど同義語だと言っていますし，江戸時代には「Physics」というのは「窮理学」と訳されていたのです．「理」を「窮」める学問ということです．そういう視点から言えば，「経済物理」という言葉も，全然おかしな言葉ではありません．

物理の歴史をさっと振り返りますと，大航海時代にいろいろと学問が発展していって，その頃，科学革命で，いまのように実証的な科学ができてきたわけですけれども，産業革命を通していろいろな機械の性質を調べて，熱力学だとか電磁気学だとかが出てきたり，今世紀に入って，量子力学とか相対論，今回の主なテーマ，高エネルギーだとか宇宙だとかというのがあって，枠からはみ出るようなかたちでたいへん申し訳ないのですけれども．これは縦軸スケールに一応取っていますので，ミクロ，マクロと，すごくはみ出ています．

コンピューターが登場して，また科学の世界は大きく変わってきたわけですけれども，21 世紀に入って人類が直面している大きな問題っていうのは，このあとあります環境，それから私が話します経済，あと，情報だと思うのです．こういうところに物理学がどんなかたちで寄与できるかということが，大きなテーマだと思います．



[Slide 3]



[Slide 4]

[Slide 3] 物理帝国主義という言葉がありますけれども，物理学はほかの分野にどんどん侵略して，自分の縄張りにしちゃう傾向があります．昔は天文学と言っていたのも，古典力学で説明でき

て，さらには宇宙物理学なんかになっていますし，錬金術も化学になって，それから結局，それは量子力学で記述できるというかたちで．

ここにも書いたように，物理学者は物理学になって初めて本当の科学になったと考えます．充分な実証，理論的な裏付け，そこから演繹して応用もできるという意味です．物理帝国主義を批判的に評価する人もいますけれども，私自身は領土をどんどん拡大していく帝国主義精神がなくなったら，もう物理じゃないと思っています．単なる古典になってしまうわけです．フロンティアを拡大する部分こそが科学であり物理であると思っています．そういう意味で，聴いていただければと思います．

経済物理学の先駆者たちを何人か紹介したいのですけれども，経済物理という名前は全然ないころの時代，16 世紀，さっきも言った大航海時代ですけれども，アメリカ大陸が見つかって，そこからたくさんの金銀がヨーロッパに流れてきたわけです．それでヨーロッパで，すさまじいインフレが発生したわけです．

それに対して面白い考えを提案した学者がいます．いまもインフレの基本理論になっているんですけど，貨幣の供給量が多すぎると，お金の価値が下がっちゃう．いまで言うと当たり前ですけれども，当時は初めてだったわけです．それまでは金銀の量はだいたい閉じていたわけです．保存していた．そこに新大陸からどんどん金が入ってきたら，ものの値段がどんどん上がってしまう，これはどういうことか．特にいろいろなところで問題になったわけですけれども，それに対して答えを与えたのが，この人です．誰でも知っている物理学者，名前はわかるでしょうか．天文学に関係します．

これはコペルニクスなんです．天動説を唱えたコペルニクスは，こういうインフレの論文を書いています．コペルニクス自身は，本業は宗教家だったのです．もちろん当時，物理学者という職業はなかったわけです．

17 世紀末，インフレ対策として金本位制を導入した物理学者がいます．金本位制はご存じのように，その後 300 年ぐらい，1971 年にニクソン・ショックでドルと金の交換を廃止するまで，およそ 300 年間，世界の経済のスタンダードだったわけですけれども，ニクソンのおかげで変動相場制，為替市場ができて，私のいまの研究もできるわけですが，その前の金本位制をしっかり提案した人，それも超有名な物理学者，ニュートンです．

ニュートンは晩年，王立造幣局長官をやっていたわけですけれども，ニュートンの本をいろいろと見ると，晩年は錬金術師になって，金をつくろうと夢中になっていたという悪い話が多いのですけど，おそらく造幣局長官をやって，金の大事さを非常に実感していたわけなのですね．で，当時は金とか銀とか，いろいろと貴金属はあったのですが，そのなかで金を最も偽造がしにくいものであるということで，金本位制を定着させたわけです．その後，世界は金本位制になっていったわけですけど，そういう意味でニュートンさんは，物理でもちろん偉いのですけれども，経済のうえでも，その後 300 年間も世界の常識をつくっていたわけですから，非常に偉いわけです．それを晩年，錬金術師になったとけなされると，ちょっとかわいそうな気がします．

これは経済の用語なんですけど，限界効用逓減という考え方があります.，これは何かというと，人間の感じる価値っていうのは，お金に対して linear じゃなくて非線形だという発想，これは経済学のほうでは定着しているのですけれども，それをいち早く提案したのがベルヌーイです．18 世紀，流体の方程式などで有名です．コペルニクス，ニュートンに比べると，ちょっと知名度が落ちるかもしれませんが．彼がそういう先駆的な考え方を出していて，20 世紀半ばになって，天才であるノイマンが見事に定式化して，経済のほうでこういう考え方が定着しています．

[Slide 4]　特にベルヌーイの話は面白いので，ちょっと詳しくお話したいんですけれども，彼は 1738 年にリスクの測定に関する新しい理論という論文を書いて，その後，聖ペテルスブルグのパ

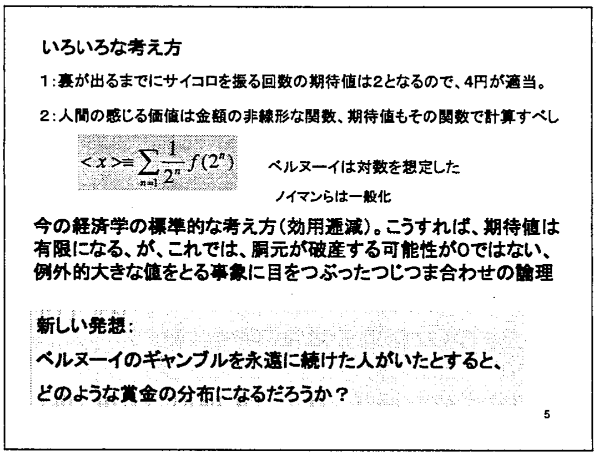
ラドックスと呼ばれている，有名な，経済の本にもよく載っている問題を考え出したわけです．

それは次のような問題です．掛け金1円からスタートして，裏が出たら賞金はゼロにする．表が出たら，賞金をどんどん2倍にしていくと，非常に簡単です．ですから表が出続ければ，2倍，4倍，8倍，16倍，32倍，64倍と増えていくのです．ところが裏が出てしまえば，もうゼロになってしまうという問題です．

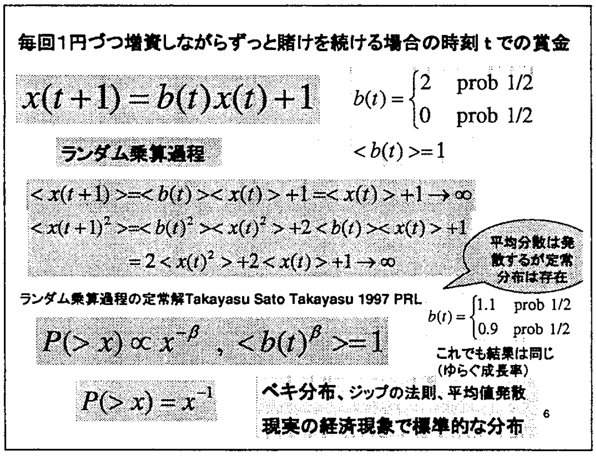
これに対して，簡単に考えればわかるように，n 回続けて表が出たら，賞金は 2^n．だけどそれの出る確率は $1/2^n$．そうすると期待値を取れば，$2^n \times (1/2^n)$ を $n=1$ から ∞ まで足し合わせるので無限大です．ですから一見，この賭けは期待値が無限大だったら，もう絶対にやるべきですよね．しかしそうは言っても，例えば実際に100万円以上を手にできる確率というのは，100万分の1以下，100万回やってやっと1回，100万円に到達するかどうかです．でも欲を出してもう一回やって裏が出たら，ゼロになってしまう．それじゃあこういうゲームに対して，本当の期待値というか，ギャンブルの参加料を取るとしたら，10円取るのがいいのか100万円取るのがいいのか1億円取るのがいいのかという問題を考えたのが，ベルヌーイです．

これは非常に悩ましい問題です．どんどん増えていって，もう一回やるかどうかと思ったら，おそらくみんな，ある程度のところで，仮に運良く，例えば100円ぐらいまでいったら，もうそろそろ限度かなと思ってやめちゃうのが人情ですね．かといって，まともにこれの期待値を計算すれば無限大ですから，100円で止めちゃあ損しているわけですよね．

こういうふうに，数学的な期待値と現実の現象に大きく食い違いがある，それをどうしたらいいかということを，ベルヌーイは考えたわけです．



[Slide 5]



[Slide 6]

[Slide 5]　これは期待値，つまり平均値ですね．これが無意味になっている典型的な事例で，実はいまでも非常に新しい問題を含んでいます．このあとちょっとだけ紹介しますけれども，経済現象でこれにかかわることというのはたくさんあります．まず，ベルヌーイはどう考えたかということなんですけれども，現在，経済学の本などを見ると，標準的な考え方としては，裏が出るまでにサイコロを振る回数の期待値を考えようと．そうすると期待値としては2回．だから，だいたい2回勝ったら裏が，期待値として出ちゃうわけですね．そうしたらその期待値で，4円ぐらいにするのが適当だろうというのが一つの答えです．それはそれでそうかなと思います．

それからベルヌーイが考えたのは，人間の考える価値というのは，お金に対してlinearじゃない，ある関数なんだ．だから 2^n がそのままじゃなくて，ある関数を取った上で期待値を取らなきゃいけないという見方です．ベルヌーイは対数を考えて，ノイマンはそれをさらに一般化して，効用逓減という非常に高尚な概念にまでもっていったわけです．

ただ，これは非常に問題があります．やっぱりあくまで数学的には期待値が無限大になっている

し，実際にもし，ずっとたくさんの人が，いくらでも賭けていれば，いくらでも高い値が出てくるわけです．ですからこういう考え方で期待値を有限にしても，胴元が破産しちゃう可能性というのは，実際にはあるわけです．払いきれない金額までいっちゃう場合がある．ですからこれで期待値を有限にしてしめしめというのは，現実に小さい確率ですけど，大きな値を取ることに目をつぶっちゃった，つじつま合わせの理論になっているわけです．

それでは，どう考えたらいいかというのが，新しい，今度は現代の問題なのですけれども，例えば次のように考えています．ベルヌーイのギャンブルを永遠に続けた人がいると．ずっと賭け続けると．そうしたらどうなるか．どういう賞金を手にするか．

[Slide 6] つまり毎回1円ずつ，新たに賭けていくと．そうすると表が出れば2倍，裏が出ればゼロになっちゃうわけですから，結局，いま持っているお金にbをかけて，bは確率$\frac{1}{2}$で2か0と．これをどんどん繰り返すことになります．非常に簡単です．これはランダム乗算過程と呼ばれているもので，掛け算で乱数が入ってくるプロセスです．

この平均値を取ってみれば，簡単に計算できるのですけれども，平均値が無限大になります．それから分散も無限大になります．そうすると，こういうプロセスというのは平均も無限大だし，分散も無限大だったらもう，完全な非定常なんじゃないかと思いがちなんですけれども，そうじゃありません．実はちゃんと定常的な分布があります．それはわれわれは昔に解いているのですけれども，答えはべき分布になります．これはxより大きい値を取る確率，それが$x^{-\beta}$というかたちに一般的にはなります．こういうプロセスです．

しかもこの分布の指数は，bの特性だけで決まってきて，bのβ乗の期待値が1になるようなβ．いまの場合は，bは確率$\frac{1}{2}$で2，確率$\frac{1}{2}$で0ですから，bの期待値は1です．つまり期待値としては，ちょうど前の値が維持される．そうすると，ここの公式を入れればわかるように，x^{-1}というかたちの分布になるのです．

面白いのはさらに，これは2倍かゼロかだと，ちょっと極端すぎるのですけれども，例えば確率$\frac{1}{2}$で1.1倍，確率$\frac{1}{2}$で0.9倍でも結果は同じです．ですから，本当の，オリジナルのギャンブルじゃなくて，確率$\frac{1}{2}$で1.1倍，確率$\frac{1}{2}$で0.9倍になるギャンブルだったらどうかと言ったら，多分みなさん，けっこう積極的に入ってくるかもしれない．でも結果は同じなのです．こういう定常分布になります．

これは昔からジップの法則と呼ばれている分布で，平均値は発散していますし，分散も発散しています．ですから収束する先の分布が，もともと平均も分散も無限大になっているので，どんどん発散するように見えるのですけど，分布としてはちゃんと定常分布に漸近しているわけです．

さらに面白いのは，実はこの分布が，実際の経済現象で非常に頻繁に目にする分布なのです．これが日本の全企業，だいたい600万社あるのですけれども，その所得の分布です．横軸が100万円を単位にした回数プロット，縦軸がそれ以上大きな所得を持つ企業が存在する確率です．で，両対数プロットでこういう分布になっています．これは1999年から3年間，重ねて書いてありますけれども，極めてきれいに定常的な分布になっています．しかも傾きも3桁，4桁ぐらいの範囲で，ほぼ-1になっています．

さらに面白いのは，これは600万の会社からなっているのですけれども，一つ一つの企業を見ると，実はけっこう変動しているのです．これはソニーの場合なのですけれども，所得，こっちの額なんですけど，各年度ごと，30年でこれぐらい変動しています．ですからこっちの目盛りで言えば，この大きな一目盛りぐらいは，毎年一つ一つの会社で動いているのです．だけれども，社会全体としては，ほぼ完全に同じ分布が成り立っている．これはきわめて驚くべき経験則です．

これは比較的最近の3年間なんですけど，過去30年で見ても，物価がずいぶん違うのですけれども，こういう分布がずっと持続しています．そしてバブル期に一番大きくなって，またちょっと

下がったりしているんですけど，この傾きはほぼジップの法則が成り立っています．

つまり，さっきの話から言えば，現実の企業というのは，どうもベルヌーイのギャンブルをずっとし続けているらしいということになるわけです．こういう問題に対しては，経済学には答えがなくて，経済物理の主な研究テーマです．実際にこういう分布を見て，確かにそういう分布が実現していると．本当にさっきのような乗算過程になっているのかという指摘はありますけれども，これはこれで，いろいろと面白い話があるのですが，今回は時間の都合で，ここで終わりにします．こういう具合に，非常に簡単な，ちょっと戻れば [Slide 6] こういう掛け算のプロセスですね，それでこういうべき分布が出てくると．現実にそういうものがちゃんと見つかっているということです．

ちょっと話題を変えます．これからお金の話をするわけですけれども，まず物理学者だと保存量に興味を持つということで，お金が保存されるかという基本的なことを，ちょっとだけお話します．

普通持っている現金は，だいたい保存されると思いがちで，実際，現金はある程度保存されているのですけれども，普通，お金といったときには，預金など，いろいろな金融資産を含めた意味で言いますけど，それは現実には全然保存していません．

例えばある人が 100 万円稼いだときに，これを銀行に預けると，銀行は預金通帳をくれるわけです．そしてここに 100 万円あるというんだけど，一方でこの銀行は，企業に 100 万円を貸しちゃうわけです．つまりここでもともと 100 万円だったのが，数字だけの 100 万円と，こっちにいく本当の 100 万円で，200 万円になっている．まあ，この企業はいろいろと稼いで，利子をつけて返してくれるということはありますけれども，こういう具合に信用を新たに創造していくことによって，お金というのはどんどん増えていきます．

簡単に言えば触媒のようなもので，お金がお金をどんどん生み出していく効果があります．平和な社会が続けば，どんどん富みが蓄積されていって，お金の総量はどんどん増えていきます．ときどき戦争が起こると，お金は一気に消費されて，国がなくなっちゃえばゼロにもなっちゃうわけですけど，ともかく平和な社会が続いている限り，お金はどんどん増えていきます．

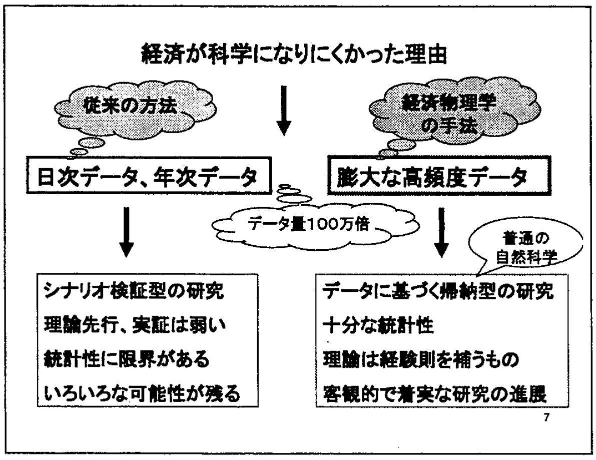
例えば日本の現在の現金は，だいたい 70 兆円です．つまりみなさんの持っている 1 万円札全部を日本中かき集めて，70 兆円ぐらいになるんですけれども，日本の金融資産は，よく言われているように 1400 兆円あるわけです．つまり現金というのはお金のうちのだいたい 5 パーセントぐらいしかないと．ですから現金を刷ってばらまけば景気が良くなるとかというのは，ごくごく小さな話で，本当のお金というのは，そういう見えない部分にあるということです．

現在までのところ，いろいろな経済現象を研究していますけど，保存量と呼べるような，エネルギーや運動量に相当するようなものは見つかっていません．将来，見つかる可能性はないとは言えませんが．

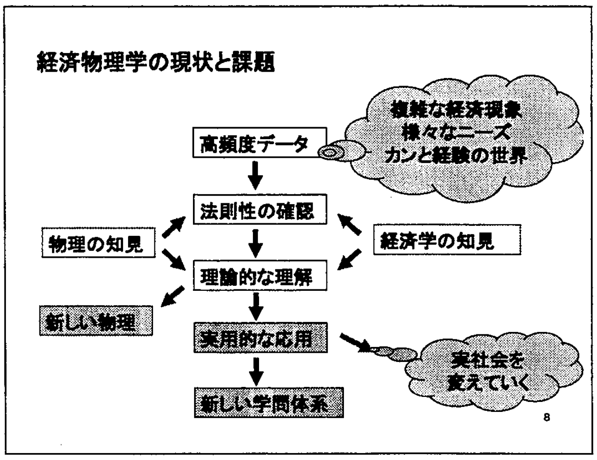
じゃあ，本論の経済物理学の話に入りたいわけですけれども，まずこれも言葉から入りたいのですけれども，英語で「経済」は「economy」ですけれども,「eco」っていうのは「家」という意味,「nomy」というのは「決まり：ルール」という意味です．ですから「economy」というのは，お金じゃなくて家の決まり，つまり人間のルールということです．似た言葉で「ecology：環境」という言葉がありますけど，この「logy」というのは，語ることです．ですから家を語るというのが環境問題になっているということです．

日本語としても，経済というのは，中国の「経世済民」という言葉からきていて，これは「世を治めて人民の生活を調整する」と辞書には書いてありまして，これもやっぱりお金じゃないのです．やっぱり人間の社会をきちっと収める．ですから名前の上から言って，経済物理学というのも，お金の学問として見られると，ちょっと小さくて，地球上で人間が平和に暮らしていくためのルールに関する学であると．お金というのはルールのなかで最も基本的で普遍的なルールなわけです．例えば 1 万円でこれだけのことができるっていう，ある種，自由をそれだけ約束されたルールなわけ

です．で，数値化されていて，非常に徹底しています．そういう意味で，お金を考えてみます．



[Slide 7]



[Slide 8]

[Slide 7] これまで経済は，物理の視点から言うと科学になりにくかったわけですけれども，それは端的に言えばデータが少なかったからです．例えばこれから話す為替の話ですけれども，従来は年次データ，あるいはせいぜい日次のデータ，一日ごとに更新するデータを使っていたわけですけれども，それだけですと，データに非常に限りがありますから，どうしても経済学者が考えたシナリオが矛盾していないとか，そういう考え方くらいしか議論できないのです．

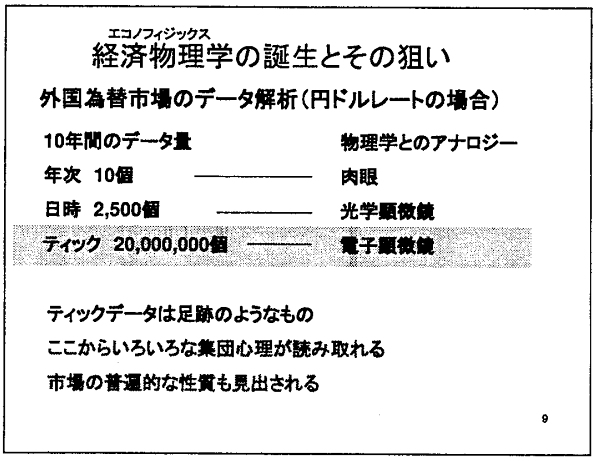
ところがここ十数年，金融の取引はすべてコンピュータ化されまして，全部のデータどんなに小さな取引も，全部コンピューターの中にデータが残っています．簡単に言えば，データが 100 万倍ぐらいに増えたわけですけれども，それだけのデータがあると，データに基づいた，普通の自然科学と同じような研究ができます．経済は実験しにくいということが一つのネックですけど，それは宇宙物理でも同じですよね．見ることしかできない．むしろ経済のほうが実験もできるわけです．例えば日銀の介入なんていうのは，非常に大切な大きな実験なのです．だいたい 1 時間で 1 兆円ぐらい売りさばくわけですけれども，それで価格が，がっと急上昇したりするのが実際に見られます．

そういう意味で，データがいままでの 100 万倍ぐらいに増えたおかげで，充分な統計性ができて，例えば理論をつくっても，どっちが正しいかっていうのを，かなりの精度で良い悪いが鑑定できるようになっている．しかもデータはコンピュータに残っている客観的なものですから，みんなあとで追試もできるわけです．そういう意味で，着実な科学になりやすいわけです．

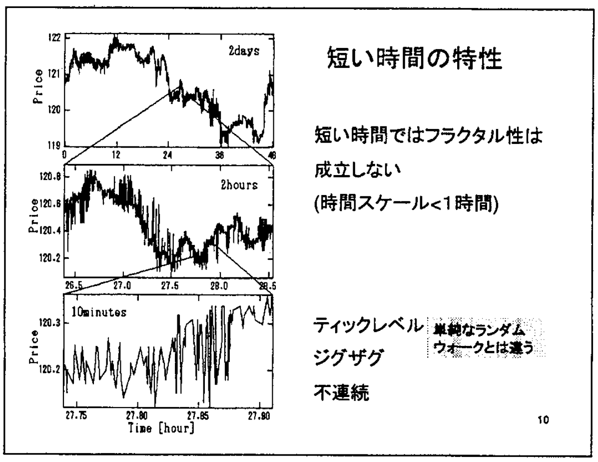
[Slide 8] 経済物理の研究は，十数年ぐらい前に盛んになってきたわけですけれども，だいたい高頻度データを使って，そこからいろいろな法則性を見つけて，それに対して理解していくというレベルが，だいたい現状なのですけれども，今日のこのパンフにもありますけど，時代の徒花で終わるのかという非常にわかりやすい言葉があったんですけども．

これに対しては，私自身は全然そうじゃないということをもちろん言いたいわけですが，特に，もう実社会を変えていく力が，かなり備わっているということを，これからの話で紹介したいと思います．アカデミックにどういうかたちで落ち着くのかは別にして，本当に実社会を変えていくような面白い発見がいろいろと出ています．

[Slide 9] まず，データが 100 万倍ぐらい増えたという話をしたんですけれども，為替に関していいますと，年次のデータで見ると，10 年間のデータは 10 個ですよね．日次で見ると，週末は市場がお休みなので，だいたい 2500 個です．それに対してわれわれの解析しているティックデータというのは，だいたい取引ごとのデータで，2000 万個ぐらいになります．つまりいままでの日次に比べて，ここのレベルで 1 万倍ぐらい増えます．これは肉眼と顕微鏡と電子顕微鏡ぐらいの差があります．



[Slide 9]



[Slide 10]

つまりいままで，顕微鏡で一所懸命見ていて，なかなかわからなかったものが，今度は電子顕微鏡で見ればばっちり見える．例えばウイルスなんかはそうですけれども，ウイルスは光学顕微鏡でどんなに頑張っても見えないわけですけれども，電子顕微鏡を使えば，すぐに見えるわけですよね．それと同じようなことが，経済でも起こっています．秒単位のこういうティックデータを見ることによって，いろいろな集団心理も読めるし，普遍的な法則も見出せます．

典型的な，一番よく知られている法則性は，フラクタル性というものなんですけれども，これは13年ぶんの円ドルレートの変動です．ここの一部分をぎゅっと拡大して，ここをまた拡大して拡大して，だいたい1万倍以上拡大しているのですけれども，こういう変動の様子が，全体とかなりよく似ています．もちろん目で似ているというだけではなくて，統計性も非常に似ているわけです．そういう意味でフラクタル性があります．

横軸は時間です．これが13年間です．これは1日ちょっとぐらいのスケールになります．

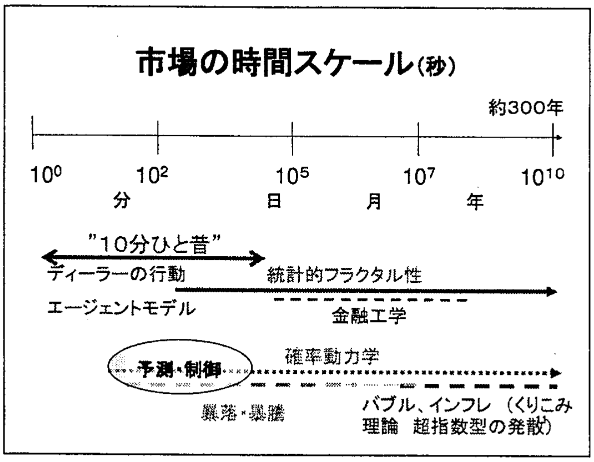
こういう具合に拡大しても縮小しても，同じになる性質を「フラクタル」というわけですけれども，経済のほうでもこういう性質は「Mandelbrotの法則」という呼び名がついて，1960年代ぐらいから研究されてきています．

経済のほうでは，これをどういうふうに理解するかというと，効率的な市場という考え方があるのですけれども，これは，予測ができることは全部予測して，織り込んだ上でみんな取引をすると．そうすると，現在が例えばここだとすると，ここからもう織り込んであるから，あと，どちらに動くかはもう，誰もわからないと．ということはランダムウォークだと．ランダムウォークは実際，こういうフラクタル性を持っているわけなのです．ですからこのMandelbrotの法則は，そんな「法則」というほどすごいものじゃなくて，価格がランダムウォークになっているということです．

[Slide 10] ただし，それが成り立つのは，だいたい数時間よりも長いスケールです．もっと短い，分単位，秒単位のデータになってくると，どんどん拡大すると，こういうデータになってきます．こうなってくると，さっきのこういう変動とは，かなり違うわけですよね．ですからフラクタル性は破れているし，どうもこれを見ても単純なランダムウォークに思う人はいないわけです．

われわれが興味を持つのは，こういうスケールの現象です．秒単位．これでだいたい10分間です．

[Slide 11] 時間スケールをおさらいしておきたいのですけれども，一日はだいたい8万秒なので，秒で言うと10^5秒よりちょっと小さいぐらい．経済の取引は，一番短いタイムスタンプは秒でついているので，10^0が最小単位です．将来，コンピュータトレーディングになったら，1万分の1秒ぐらいまで出るかもしれませんが，とりあえずいまは1秒．大きいほうは300年がだいたい10^{10}秒です．ですから精一杯見ても10桁の範囲が，われわれが問題にする時間スケールです．



[Slide 11]

[Slide 12]

日次のデータというのは，だいたいここよりこっちを見ていたということです．われわれが注目するのはこういうスケールです．フラクタル性が成り立つのは，ここよりこっちであると．

金融工学というものがありますけれども，これは確率論に基づいて検証・記述するのですけれども，だいたい有効なのは，これぐらいのスケールです．

[Slide 12]　まず経済の非常に根本的な問題で，裁定機会は存在するのかという問題があります．これは道にお金が落ちているか？っていうことに，よく例えられるんですけれども，いくつか市場があったときに，そこで循環的な取引をするだけで儲かっちゃうようなことがあると，経済学として矛盾しちゃうわけです．そういうものを「裁定機会」といいます．

道にお金が落ちているか？という問題に対して，経済学者はどう答えるかというと，「落ちているはずがない．なぜなら落ちていたら，すぐ誰かが拾っちゃうはずだ」という論理を使います．それはそれでもっともなんですけど，金融の実務家はどう言うかというと，「落ちている．ごみを拾っちゃうこともあるけど，実際にちゃんと拾える」ということを言うわけです．物理学者はどう言うかというと，「落ちている．よく見ていると，落ちるのも拾われるのも，ちゃんと見える」．データを見れば，ちゃんとそれが追いかけられると言うわけです．

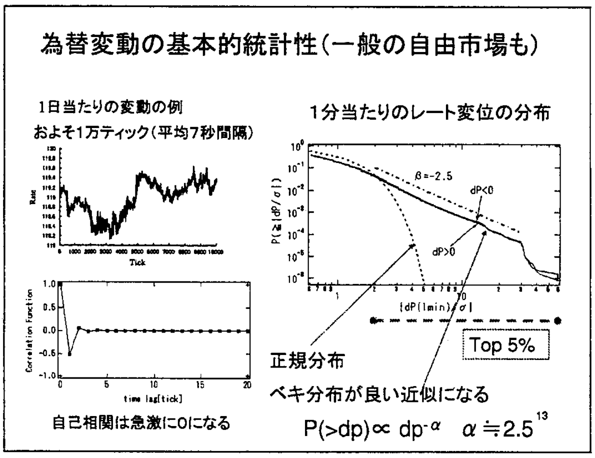
それじゃあどうやって実際に見るか．これがその例なんですけれども，いま，三つの通貨を考えます．円とドルとユーロです．円とドルとユーロの三つの通貨があるのですけれども，為替の市場というのは，常時，売値，買値というのが提示されていて，それで取引できるようになっているのですけれども，仮想的にある瞬間，円をドルにして，ドルをユーロにして，ユーロをまた円にするという，循環的な取引をしたとします．そのとき，1入れたお金がいくつになって戻ってくるかというのを，そのときどきのレートで，秒単位で見てやるのです．

そうすると，一般に売値と買値の差がありますから，ぐるっと回ると1より小さくなります．ところが実際のデータを追いかけてみると，ときどき1より大きくなるのです．これは何かというと，円・ドルは円・ドル，ユーロ・ドルはユーロ・ドル，ユーロ・円はユーロ・円で，それぞれ市場ができていて，矛盾しないように動いてはいるのですけれども，瞬間的には矛盾した状況が生じちゃうのです．大体，一日の5パーセントぐらい，こういう矛盾した状況が見えます．

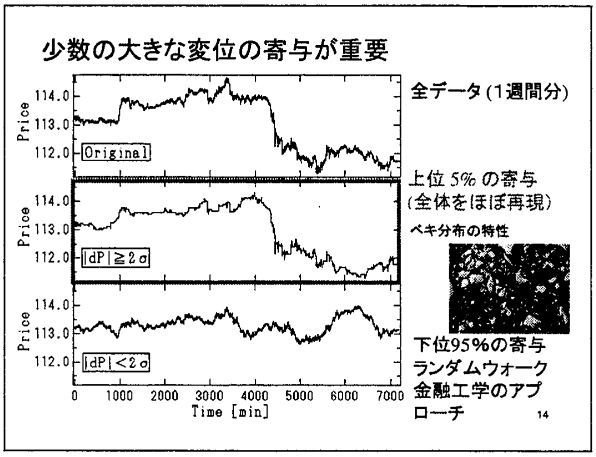
これがそれをもう少し詳しく見たものなのですけれども，円・ドルを直接見たレートと，それからユーロを間に挟んで，円・ドルレートを見たものの変遷の関係で，大きなスケールで見ると，2時間半ぐらいで，だいたい同じ動きをしているんですけれども，ミクロに見ると，一度，ちょっと行きすぎたり小さくなったり，かなり変動しています．具体的には，例えば円・ドルレートが大きく上がったというときに，それをドルがユーロに対して上がったとみるか，いや，円がユーロに対して下がったとみるか，一つの文章に対してどっちの解釈も可能なわけなのです．

ですから円・ドル市場で価格が動いたときに，ユーロを使っている人は，二つの立場があって，迷ってしまうわけです．で，迷っている間が，こういう矛盾が生じている時間になってくるわけです．

そういう矛盾した状況の持続する時間，どれぐらい持続するのか．いつも瞬間的に消えちゃうと，あまり意味がないんですけれども，これも両対数プロットで見てやると，ちょうどさっきのジップの分布のようなものが出てきて，ときと場合によっては，やっぱり数分から数十分ぐらい持続するような場合も起こり得ます．ですから，経済学でこれはあってはならないものなのですけれども，実際に見ていると，あるのです．



[Slide 13]



[Slide 14]

[Slide 13] 価格変動の基本的な統計性ということなのですけれども，これがだいたい一日の変動の例なんですけど，だいたいいつもこれぐらい，為替というのは変動しているんですけれども，その変位の相関関数を見ると，ほぼ瞬間的にゼロになります．だいたい 2，3 ティックでゼロになって，時間で言うと十数秒でほとんど相関がなくなります．そういう意味では，極めてランダムウォークに近い動きであるには，違いない．

ところが 1 分間あたりに何円動いたかという，変位の分布を見たのがこれなのですけれども，標準偏差で規格化した変位と，それからそういう変位が起こる確率，累積分布です．プラスの方向，マイナスの方向，それぞれ二本，線が入っておりますけれども，ほとんど重なっています．しかも両対数で非常にきれいに，直線的な振る舞いが見えています．べき乗です．

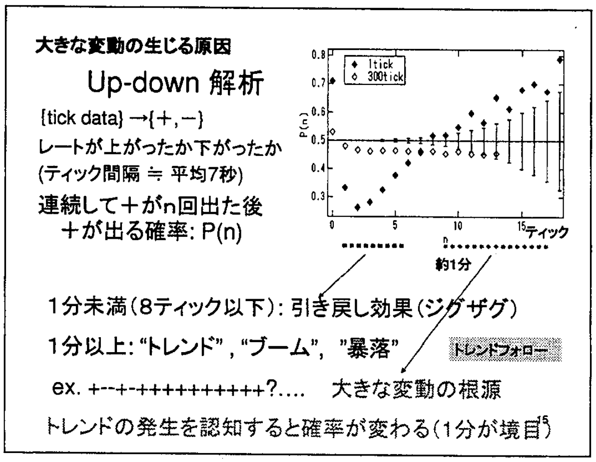
金融工学とか，普通のランダムウォークが仮定するのは，正規分布なのですけれども，ここのプロットで言うと，こういう分布になります．ですから正規分布に比べると，はるかに大きな変動が，高い頻度で起こっているということがわかります．例えば標準偏差の 10 倍なんていう変動は，正規分布だったら絶対に起こらないわけですけれども，現実には 1000 回に 1 回ぐらいの割合で，そういう変動が起こると．つまり単純な確率過程として見るよりは，はるかに大きな変動が起こる確率が高いのです．それがいろいろな問題を起こしているわけです．

[Slide 14] 大きな変動は頻度が高いのですけれども，これは確率を対数で取っていて，実はここの正規分布より大きい部分というのは，パーセントで言うと 5 パーセントぐらいです．両対数でプロットしているから，いかにもすごく見えるんですけど，実際にはここの部分が起こることは，5 パーセント程度です．

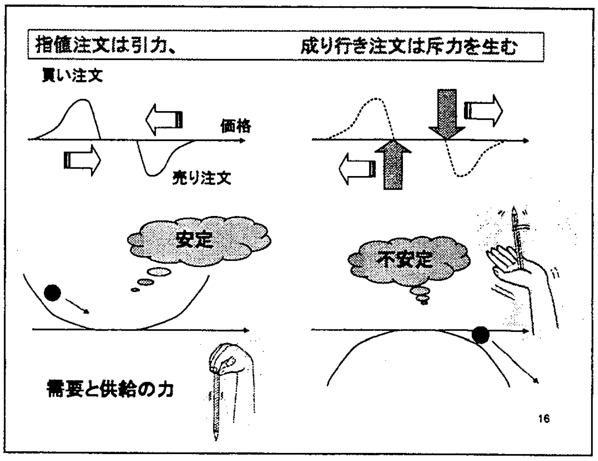
なのですけれども，実は，これはほぼ 1 週間のデータなのですけれども，1 週間の変動に対して，上位 5 パーセントの変動だけを取り出してつなぎ合わせたのがこれ，それから残りの 95 パーセントの 2σ 以下の小さな変動をつなぎ合わせたのがこれです．

これと見比べていただきたいのですけれども，全体的な 1 週間の変動をよく記述しているのは，

たった5パーセントからつくる，こちらの時系列です．つまり為替の変動を，ある程度大きなスケールで見たときには，小さなスケールのランダムウォークよりも，大きな変動のほうがずっと大事であるということがわかります．それが金融工学の見解にもなっているわけですけれども，金融工学は基本的にランダムウォークからアプローチしているので，こっちの立場になります．



[Slide 15]



[Slide 16]

[Slide 15] それでは，大きな変動がどうして生じるのかということなのですけれども，それのヒントになるのが，この up-down 解析の結果なのです．これはどういうものかというと，価格の変動を見たときに，上がったときにプラス，下がったらマイナス，同じ値だったら詰めちゃうというかたちで，価格の時系列，プラスとマイナスの時系列にしています．もしまったくランダムだったら，プラスマイナスの出方がいつも独立で $\frac{1}{2}$ のはずですよね？

それを調べてやったのがこれなのですけれども，これは過去，n 回プラスが出たあとで，もう一回プラスが出る確率を，この n の関数でプロットしています．この点が実測値です．

これを見ていただくとわかるように，理論で予想される 0.5 というのは，全然実現していなくて，続く回数が少ないときには，同じ符号が出にくい．これは先ほど，ミクロに見ると価格が非常にジグザグしていましたけれども，その傾向が出ています．つまり，上がったら下がりやすくなり，下がったら上がりやすくなる．

それから，だいたい $n = 8$ ぐらい，時間にすると1分ぐらいが境目なんですけど，それよりも同じ符号が続くと，今度は確率が 0.5 より大きくなる，つまりおよそ1分間，ずっと価格が上がり続けると，次にプラスが出て上がる確率が 0.5 より大きくなってくる，それがどんどん顕著になってきます．これはいわゆるトレンド発生というもので，価格がうわっと動いてくると，みんな上がっちゃうぞと思って，どんどんそういうふうにいっちゃうんです．そういうことで，価格が大きく動くというわけです．トレンド行動です．

300 ティックの白のほうは，これは 300 ティックをひとまとめに平均して，プラスマイナスで解析したものなんですけど，だいたい 0.5 に近い結果になっています．ちょっと数の非対称性があって，ずれるんですけど．だから大きなスケールで見ると，やっぱり 0.5 になる．あくまで小さなスケールで見ると，こういうランダムウォークじゃない性質が見えてくると．

あとの時間があまりないので，ここはスピードアップしていきます．市場取引というのはどういうふうになっているかということを，簡単に説明します．

ここに価格の座標軸を取ったときに，この値段だったら買いたいという注文，この値段だったら売りたいという注文が，指値というかたちですけれども，入っています．これとこれが直接つながってくれば，ここで取引が起こるんですけれども，現実にはそうではなくて，ここに直接ぶつけてくる，Best bid，Best ask にぶつけてくるものが出てきます．

ちなみにテレビのニュースで，1ドル何円から何円で取引していますと言う，この値段は，ここ（Best bid）とここ（Best ask）の値段です．125円から125円3銭で取引していますと言ったら，これとこれの値段ということです．

これはどちらかと言えば，触媒反応，COとOがCO_2になったり，あるいは燃焼のような，そういう現象に非常に近いものです．ここにぶつかって，それで対消滅して．

こういう非常に細かいデータを見ると，いろいろな面白いことがわかるのですけれども，例えば需要，供給の法則，のほうで有名な，みなさんも経済で勉強している，需要が増えると価格が上がると．それがそもそも本当かということを，データから確かめられます．

実はこういう需要，供給の法則を，きちっとデータから確証したというのは，まだつい最近なのです．経済物理のほうでカーブと，または為替のほうでやっているのですけれども，そこで初めて見えてきて，いままでそんなにはっきり，需要，供給で価格が動いたっていうことを示すデータはなかったのです．経済って，ちょっと不思議な学問で,「法則」ってついているのですけれども，実は仮説なのです．データからきちっと実証された法則っていうのは，経済ではほとんどありません．ほとんどすべてが仮説で，みんなが正しいと思っている仮説です．だからそういう基本的な法則も，本当に成り立つかどうか，データから試してみる必要があります．

価格が本当に，需要が増えると上がるのか．それから需要と供給の差に比例して，価格が動いているのかということを，データから見ることができます．

詳細は省きますが，これは単位時間あたりに何個の売りがあった，買いがあったというかたちと，それから価格の変化の相関をプロットしたもので，確かに同時刻で見ると，線形の関係があります．ですから需要と供給の関係は一応，正しいということがわかります．

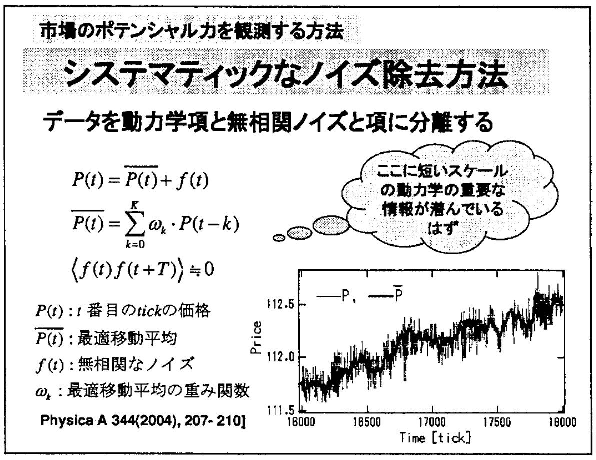
ただし，これが成り立つのは，実は為替の場合，Lは2時間程度ぐらいです．それより長いスケールになると，需要と供給の関係と価格の因果性はあまりなくなってきて，グラフとしては判定できないぐらいになっています．ですから，比較的短い時間でしか捉えられない．

それから因果性もチェックできます．つまり需給が増えて価格が動くのか，価格が動いて需給が変わるのか．普通，需要が増えて価格が上がると考えるのですけれども，実際には実はそうではないということがわかってきています．異時刻相関は，これも秒単位のデータできっちり相関関数をみていくわけですけれども．

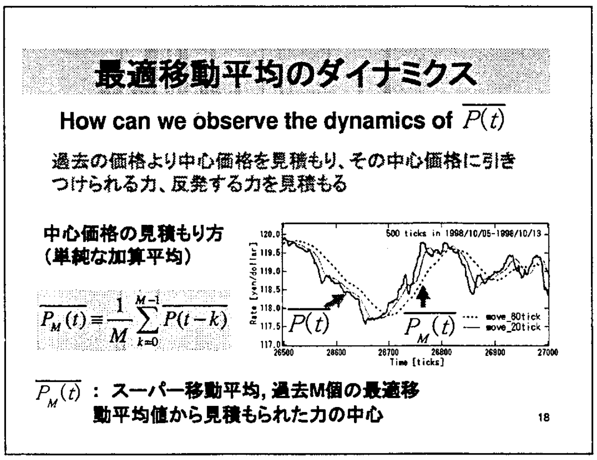
ちょっと見にくいグラフなので，解釈だけ言いますけれども，このへんで裾野が出ているのは，何を意味するかというと，だいたい価格の変化は1分以内ぐらいで相関がなくなっちゃう，価格と需給の関係の相関ですね．だから需要によって価格が動くのは，ほぼ同時の場合だけです．それに対して，このへんにちょっと裾野が見えてきているのですが，それからこっちにもちょっと見えてきているんですけど，これは何を意味するかというと，価格が変化すると，2，3分後に需要，供給が変わる，つまり価格が動くことによって需給が変わっちゃう．それからこっちは，もうちょっと大きなスケールで，20分，30分のスケールで，逆向きの需給が起こるということがわかります．

つまり典型的には，需要が増えれば，確かにその瞬間，価格は上がるのですけれども，逆に価格がまず何かの原因で上がったと，そうすると，それが需要を生んで，価格がより上がっていくと．だけど，もっと時間が経つと，今度は逆向きの供給が出て，下がってくるというのが，さっきの相関からわかる典型的な動きです．つまりこういう，非常に詳細な動きが，データをみれば，きちっと押さえられるというわけです．

[Slide 16,17,18] 実はこういう研究をさらに発展させて，市場にある種の力がはたらく，単純なランダムウォークじゃないというのはわかったんですけれども，安定な力，あるいは不安定な逆向きのポテンシャルのような力，これは実は成り行き注文が多いと出てくるのですけれども，そういうポテンシャルがあるという仮定が，実はけっこう成り立つということがわかってきています．



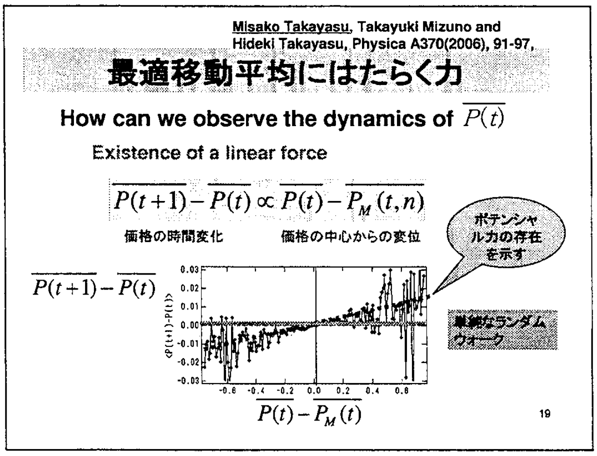
[Slide 17]



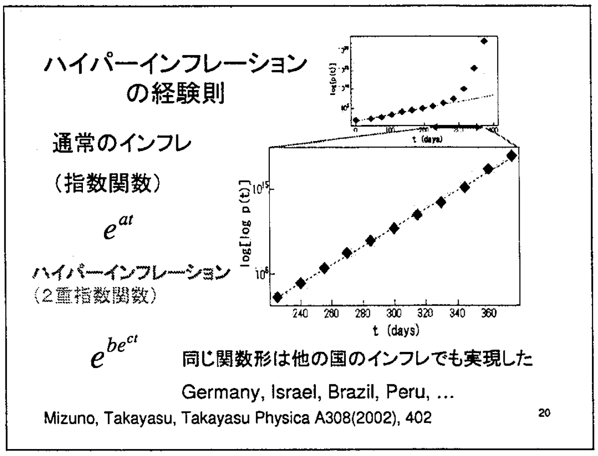
[Slide 18]

時間もなくなってきたので，突っ走ります．

市場価格のこういうデータを，まずノイズリダクションといって，無相関なノイズを取り除く，最適移動平均をつくっていきます．そうするとこの周りの揺らぎは無相関になってきます．その最適な移動平均，完全に相関がゼロになって，ノイズが取れているのですけれども，そのノイズを取った変動に対して，もうちょっと大きなスケールの移動平均を考えてやって，ここがある種，力の中心になって，市場価格はこれの影響を受けて，反発力，あるいは引力を受けているという仮定をしてやるのです．



[Slide 19]



[Slide 20]

[Slide 19] こちらに移動平均と価格との図で，こっちに将来の価格の変化を取ってやると，ランダムウォークだと，これがフラット，無相関だったら完全にフラットになるはずなんですけれども，実際のデータで見てやると，かなり明瞭にこういうスロープが見えます．この場合には斥力になっているのですけれども，市場に，完全なランダムウォークとは違う力がはたらいているということです．

途中を省略します．

これはほぼ一日のデータですけれども，比較的安定しているときには，こういう安定なポテンシャルで，かなり不安定になったときには，不安定なポテンシャル，それから中ぐらいのときには，普通の，力の場のないランダムウォーク，これが普通の金融工学が仮定するランダムウォークですけれども，それ以外にこういう，不安定なポテンシャルが市場のなかにはたらいたり，あるいは安定化させるような力がはたらく場合が，データから見えてきます．

このbの値を時間とともに見たのが，こういう図で，これに対応しています．それからこのへんから，不安定なポテンシャルが現れて，市場が安定化していると．

例えば2001.9.11の日のデータなんですけれども，テロが起こるまでは非常に価格は安定していて，ポテンシャルも安定したポテンシャルだったんですけれども，テロが起こって，ここがテロの2機目の衝突したところなのですけれども，そのあたりから市場が不安定なポテンシャルが現れて，価格も激しく変動しているという様子がわかります．

これは東工大の高安美佐子研究室のホームページ，私の伴侶の研究室なのですけれども，そこで開発しています．興味がありましたら，これがムービーになったものがあります．価格の広がりも予測したようなかたちの動きになっているのわかります．

坂東：それは予測をして当たったんですか？

高安：これは過去のデータを見て解析しているのですけれども．

坂東：テロが起こるのは予想できませんもんね．

高安：できませんね，それは．ホームページを見ると，その日のあたりのポテンシャルを推定したものが出るのですけども，これはあんまり公表できない，細かいところまで言えないんですけど，新しいバージョンでは，リアルタイムでデータ処理をして，しかも単に広がりだけじゃなくて，上がり下がりの方向性まで含めたかたちで，価格の予測ができるようなものも開発してあります．で，まもなく試験運用する段階です．

時間になったのですけれども，インフレの話をごくごく簡単にしたいと思います．歴史的にもインフレは非常に重要だっていうことは，最初に話したとおりなのですけれども，これはハンガリーのインフレで，ほぼ1年間のあいだに物価が10の30乗倍にもいった例なのです．その当時，発行された通貨はこれなんですけど，額面で10^{21}Pengoというとんでもない額になっていたものです．それから国が崩壊したユーゴスラビアでは，崩壊する直前にインフレが起こって，こういうゼロが11個もつくようなお札も印刷されています．

[Slide 20]　これは有名なドイツのインフレですけど，実はこのハイパーインフレ，特にこのひどい，これは指数関数でプロットしているのですけれども，指数よりもっと速い発散をするのですけれども，この部分は実はいろいろ調べてみると，もう一回対数を取ってやると，ほぼ直線に乗るということがわかります．こういう形です．指数関数のもう一回指数関数．

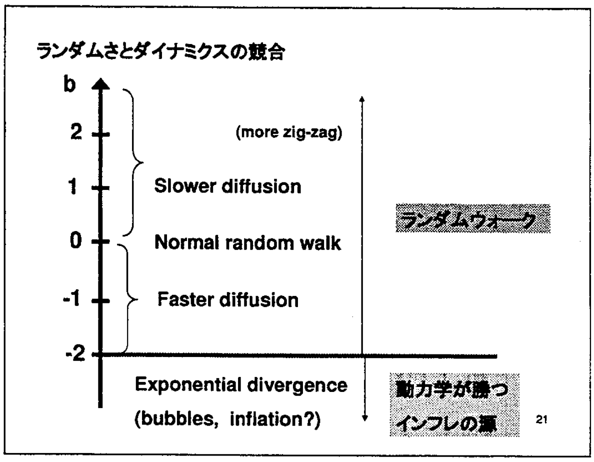
それはけっこう普遍的で，ドイツのインフレでも，この部分で見られます．他でも見られます．たくさん事例があります．ですから本当にひどいインフレでは，こういう二重指数関数のインフレが起こるということです．普通のインフレは，こういう単純な指数関数で，それからインフレが収まるときには，実はこういう負の2重指数関数として，だいたいfitできます．

ちょっと省略しますが，先ほど話したようなこういうポテンシャルを仮定するような市場価格の変動，これは非常にミクロな現象を記述するために導入したのですけれども，実はそのまんまをマクロにしてやると，面白いことがあって，このbと出てきた曲率ですね，これが負だと不安定なのですけど，-2を置くところでこれが発散して，実はそれよりこっちになっちゃうと，もう確率的な振る舞いじゃなくて，ポテンシャル力が勝って，動力学的な振る舞いになっちゃうのです．

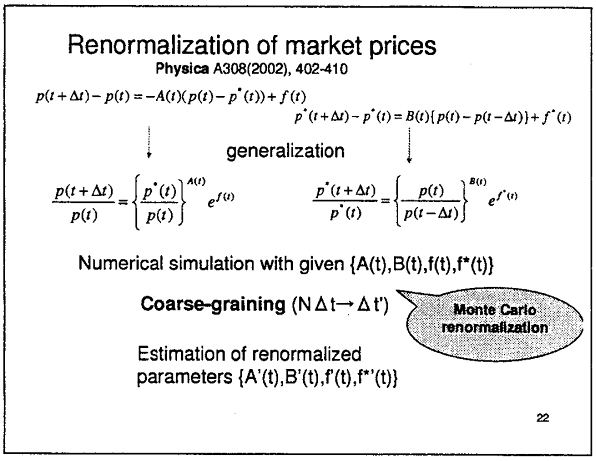
つまりこういうハイパーインフレのような状況は，このへんまでだったら，まだランダムウォークなんですけど，ここを超えてしまうと，もう動力学が勝ってしまって，ランダムが押さえられて，ぱっと動力学になってしまうと．

[Slide 25]　そのへんは実は，繰り込みといったらちょっとおこがましいのですけど，実はこの式を単純に，移動平均をどんどん繰り返すだけで，マクロな式が導かれて，簡単な式になりますけれども，その式を解いてやると，bの値によって二重指数の解，指数の解，こういう負の二重指数の解，それから普通のランダムウォークの解，これが理論的にもきちっと出るという，非常にきれい

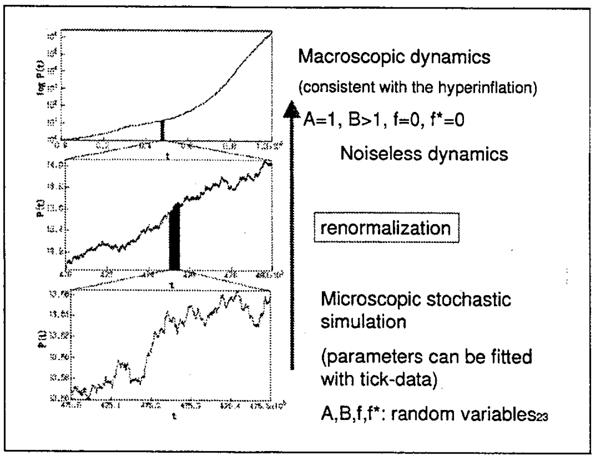
な結果が得られています．ですからミクロな世界でつくった式なのですけれども，そのままマクロまでいけるということです．



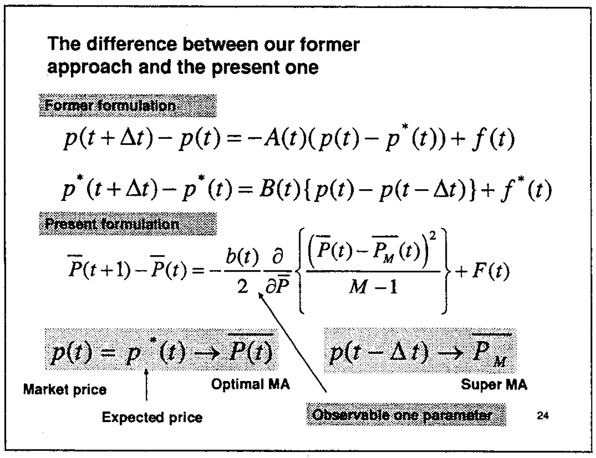
[Slide 21]



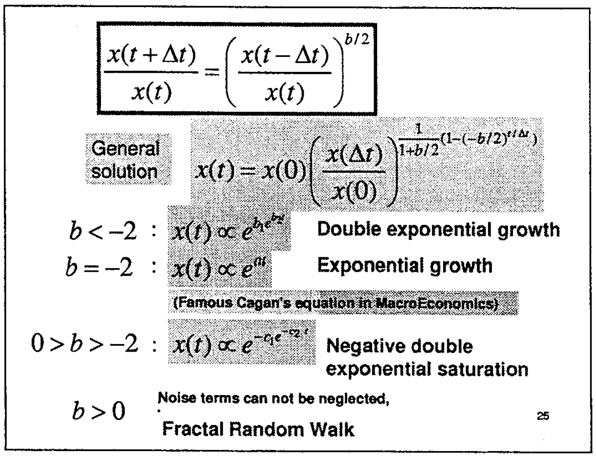
[Slide 22]



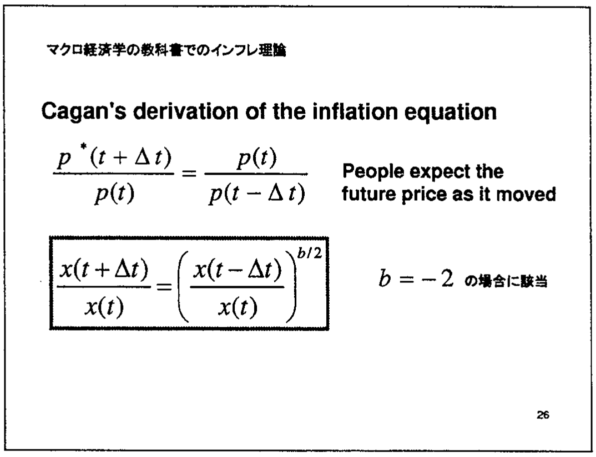
[Slide 23]



[Slide 24]



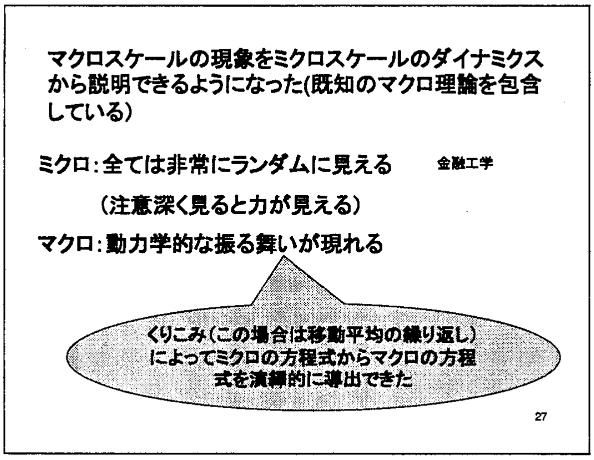
[Slide 25]



[Slide 26]

さっき言った，こういうトレンド追随の効果も，実はそういうポテンシャルを考えて，このまま再現できます．さっき示したこういうスケールのなかで，ミクロなスケールで，データに基づくかたちで式をつくっていったのですけれども，それをどんどん大きくしていく，単純に移動平均を繰り返すだけでいいのですけれども，そうするとインフレまで記述できるようになって，経済学では，

このミクロとマクロをつなげる理論というのは，いままでは全然なかったのですけれども，それがかなり明確なかたちでできてきたということです．



[Slide 27]

ちょっと時間がオーバーぎみですけど，こういう話を聴いて，経済物理をやってみようかなと思った人用にちょっとだけ話を．

経済物理は非常に社会のニーズが高くて，いまのところ，若手の就職率は100パーセントです．ODの人でも経済物理をちょっとやると，すぐ就職できます．研究をやるときには，データが必要になるのですけれども，データも例えばティックデータを1カ月ぶんぐらいを2000円ぐらいで買うことができます．そのほか，いろいろな企業のデータとか，最近，販売のPOSデータとか，いろいろなかたちで．

それから途中でも言いましたけど，経済学の法則というのは，物理のスタンダードで言ったらすべて仮説です．ですからどんなに有名な法則でも，それをきちっとデータから示して言うことができれば，それは立派な研究になります．それから，電子通貨など，ごく最近の話題で，経済学者が全然まだ手をつけていない世界というものもたくさんあります．そういうところも非常に面白い話題です．私自身，今回は話せませんが，半導体の歩留まり解析などもやったり，販売データの解析などもやっています．そのへんでも非常にニーズがあります．

経済物理学は後世に残るかという問題提起がこちらにありましたけれども，私自身，こういう世界に入ってやっていると，この名前はなくなっちゃうかもしれないなと思っています．もしかすると経済学に飲み込まれて，物理経済学になっちゃうかもしれないし，もっと広く社会現象を含んで，社会物理学になるかもしれないし，あるいは経済学者で言ってくれている人もいるのですけど，経済学そのものを全部，こういう経済物理流につくり直しちゃえばいいんじゃないかということまで，言ってくれている人もいます．いずれにしても，日々どんどん面白い発見が報告されて，応用研究も進んでいます．

でも，もっと感じているのは，本当にすごいことはこれから起こるんじゃないか，つまり量子力学で言うと，まだ前期量子論の段階じゃないかと思っています．というのは，ときどき垣間見える，もしこういうことができたらすごいなというのがいろいろとあるのですけれども，それもまんざら嘘でもないかなと感じています．以上です．どうも．

村瀬：どうもありがとうございました．「時代の徒花か」という言葉に対して，逆にリクルートされてしまったというような状況ですけれども，早川さん．

早川：すみません．「徒花か」と書いたのは僕です．それでお聴きしたいのは，bという指数を決めるメカニズムというか，ポテンシャルをデータから逆算して，研究して．わかるわけですけ

れども，逆に言うと，どういうときに b が決まるかということが，スタンダードな物理としては知りたいわけですよね．それは可能なのでしょうか．

高安：やっています．アプローチとしては，ディーラーモデルというのがあるのですけれども，ディーラーの動きを仮定して，仮想的な市場をつくっちゃうのです．そういうときに出てくる変動を解析してやれば，ポテンシャルが見えるケースがあるのですけれども，そこからわかってきたのは，今回はあまり用意してこなかったのですけど，ディーラーモデルでいろいろ解析してくると，まずわかったのは，普通の売り買い，市場での売り買いがあるだけで，引力は出るのです．斥力が出るのはどういう場合かというと，ちょうどこれもさっき言っていた話なのですけど，価格に追随する効果，ディーラーたちが過去の価格変動に追随して，トレンドを読むような動きを入れると，反発力のポテンシャルがきれいに出てきます．ですから全体が非常に矛盾しないかたちでまとまっています．以上です．

早川：どうもありがとうございました．

藤井：いまのことに関係あるかどうか，よくわかりませんけれども，単純なエクスポネンシャルですね，1階の微分方程式から出ますね．二重の指数は．

高安：これは直感的に言いますと，基本的に，具体的に言いますと，例えば1カ月で価格が倍になったと．次の1カ月も倍になったら指数ですね．で，現実にこれが起こるのは，1カ月で価格が倍になった次は，半月で価格が倍になっている．その次は1週間で価格が倍になったという具合に，時定数が半分，半分に減っていくのです．それが二重指数になります．

田中_：たいへん面白いお話をありがとうございました．最初にうかがったときに，物理とはどういう意味かということをおっしゃられて，私はよく，物理とは，読み方が「ぶつり」と読むのがいけないので,「もののことわり」と読む．その「もの」が非常に広い意味を持っているということがわかりまして，たいへん勉強になりました．

おうかがいしたいことは別のことで，経済現象のなかで，その中に潜んでいる物理法則というものを見出していない，ちょっと物理の手法では取り組めないような，そういう経済現象があるのかどうか，あればどういうものか，そういうことについて，おうかがいしたいのです．

高安：いま，私はなんでもできると思って解析していますが，一番難しいのは，多分，一人の人間がどういう購買行動をするかというレベルだと思うのです．簡単なのは，人数が多いほど簡単なのです．特にインフレなんていうのは，何千万人の行動を平均したものになるので，打ち消されて，逆に非常にきれいな法則になるのです．一人一人の人間が，例えば昼に何を食べるかというようなことを聞かれたって，それはおそらく答えられないし，脳科学を使ったって，おそらく無理だと思うのです．面白いのは，いま言ったように，人の集団になると，そういうわからない部分が打ち消されて，わかりやすい動きがちゃんと残ってくるということなのです．それが動力学で記述できるということです．

田中_：そうすると，集団になれば全部それは，物理法則として理解できそうだということでしょうか．

高安：そう私はいま，思っています．

坂東：いまのその方程式って，差分方程式ですか．

高安：これはそうです．

坂東：微分方程式にもなるんですか．

高安：なります．

坂東：その違いは，べつにそれほどありませんか?

高安：そんなに追求していないのですけれども，確率微分方程式から出発しても，できるはずで

す．でもそれは，確認できれば論文になるというレベルの最先端のことです．

坂東：そうですか．それからもう一つ，先ほどの需要・供給の関係のグラフは検証されたというか，実験からわかったとおっしゃったのですけれども，いつもあの需要・供給の関係を見ると，あの曲線はおかしいんじゃないかという気がするんです．なんでかというと，いくら安くなっても，需要ってそんなに増えないですよね．タダでくれるっていってもいらないときもありますから．だから，こう寝るような気がするんだけど，それはいつもどうして立っているんですか？

高安：これは概念図ですね．こういう市場のデータからわかるのは，ごくこの近傍だけです．だから線形な関係で．

坂東：では需要度の高いところもこっちもあんまり．

高安：こっちのほうは，データがなかなか見えない．

坂東：先ほどの検証されたというのは，どこまで．

高安：ここの部分です．それも時間で言って 2 時間以内ぐらいの．

坂東：それならまだまだですね．

高安：そうです．やることはいっぱいあります．

日置：たいへんわれわれにとって貴重なお話，ただし物理屋から見ると，新しいことでも納得できるのですが，いわゆる古典的なというか，伝統的な経済学者というのは，一般的な，こういう研究をどういうふうにいま，見ているのでしょう．ついて来られているのか，あるいは無視しているのか．

高安：最初に話しましたように，安倍内閣を支えている経済学者の方は非常に面白がって，毎回，ゼミで議論をしてくれていますし，だんだんそういう人の数が増えてきて，実は私は経済学者の前で 10 年ぐらい前にも話したことがあって，そのときティックデータで解析しなきゃ，面白いことはわからないって言っていたんだけど，みなさんぽかんとしていたんですけど，最近は経済学者がティックデータをどんどん買い集めて，解析を始めています．そういう意味では，方向性が非常に近いです．やっぱり実証に勝るものはないので，同じ方向にいくと思います．

村瀬：一口に言いますと，観測精度の向上っていうのが，経済物理学を支えているように思うのですが，ミクロとマクロをつなぐことができてきていますと，どういうスケールのデータがあっても，それを外挿することは可能になってくるのでしょうか．

高安：そうですね．ミクロでしっかりした式をつくれば，それでマクロがわかるというのが，物理の考え方ですよね．それが市場に対しては，ある程度ちゃんといきそうだということです．いままで，マクロの論理とミクロの論理が，全然，断絶していたのですけれども，それがミクロからちゃんと追いかけられるようになった．それは市場価格だけではなくて，いろいろな小売のデータとかも，そういうふうに見えてきています．

川崎：ちょっと．こういう話というのは素人ですけれども，社会の体制というか，そういったものというのは，どうかかわるのですか．例えば極端なことでは資本主義と社会主義の場合はどう違うか．例えばいま，格差社会だと言われているでしょう．いまはアメリカ的なものをどんどん持ってくる．そういった問題は，何か答えがあるのでしょうか．

高安：答えられるほどはないですけれども，現象は見えます．rich と poor の差が広がっているようなのは，データを見ればちゃんとわかりますが，それで，どういう政策を打てば，どう変わるかっていうあたりまで，ちゃんとシミュレーションできれば，政策にまでかかわるような．

川崎：そういったことは，安倍内閣は関心があるんでしょうか，どうなんでしょうか．

村瀬：今度会ったときに聞いてください．

坂東：もう一つだけいいでしょうか．どうしても聞いておきたいのですけれども，さっき就職率が100パーセントだと言っていましたけれども，金儲けの会社に行っているということですか？

高安：そのニーズは一番多いです．金融関係だったら，すぐ就職できるのですけれども，そうじゃなくて，例えば製造工程だとか，わりと物理っぽい，半導体をつくったり．

坂東：それって，いまのポスドクレベルで35歳を超していても，いまからいけますか．

高安：問題ないです．

坂東：大丈夫ですか．ありがとうございます．

田中_：経済現象に対する政策的な影響というのは，だんだん，需要が大きくなると思うのです．現在もかなり大きいのですが，そういう部分は，どういうかたちで取り組むのでしょうか．

高安：物理学者の立場から言ったら，あんまり言い過ぎないように，物理としてはここまではわかるというぐらいに留めておくのが節度かなと思います．あとは経済学者にお任せして．だから，データから実証できることというのは，やっぱりさっきのこれでも，このへんだけなんですよね．それ以外はデータも少ないし，見えないんですよ．だからといって，ここまでわかったような顔をするのは，やっぱり問題かなと．

村瀬：まだまだご質問はあるかと思いますが，時間が過ぎていますので．どうもありがとうございました．

ph07 佐藤$_{文}$ 佐藤$_{勝}$/坂東，南部/川崎//田中$_{正}$ 山田/池田，上田/高安// 伊沢，藤井，大貫/高安