

会议主题：方正金工午餐会

会议内容：金融+物理

主讲人：东京大学新领域创成科学研究科副教授 陈昱

会议时间：2016 年 9 月 21 日

高子剑：各位领导大家中午好，感谢各位来参加方正金工的午餐会，我们很荣幸能邀请到陈昱老师跟大家做交流。为什么会有这次午餐会，因为现在方正这边业务很广，已经到了香港、台北、首尔去路演，发现全世界的 CBD 到中午吃饭的时候都是一场灾难，所以我想刚好把交流和午餐放在一块，也帮各位解决一下午餐的难题。这次的午餐会报名非常火爆，我们把这个餐厅包下来可以坐 82 位，总共报名 150 位，我们也舍不得，但是没有办法，只好跟领导说这次位置不够，也请大家多多见谅，今天的饭是西式的，不存在要等领导到齐了一起举杯，有什么需要跟服务员说就行了，这是今天中午工作餐的部分。接下来我们这次介绍的题目是金融物理，我第一次听到这个名词的时候是 2011 年，魏建榕博士当时还在复旦物理的时候，想要到东方证券申请实习生，那是我第一次听到金融物理这个名词，我跟魏博士合作的过程中越来越感受到，金融物理在投资来讲可以提供很多很新颖的视野，而且方法非常科学，我们也很荣幸今天能邀请到东京大学的副教授陈昱老师，陈老师在金融物理这个领域是佼佼者，带领了很多的博士学生，昨天我们在群里发的那篇论文是在美国科学院的院刊上面，被引用的次数，陈老师这篇文章有 38 次，那本期刊平均每篇被引用的次数是 9.4 次，是平均引用量的 4 倍。金融物理领域我是门外汉，它是一个复杂系统，相当于你在影响一个事物和现象的时候有很多因子，你怎么用统计物理的方式做这方面的研究。我觉得这个和我们做投资非常像，像一个股票，肯定有很多因素在影响。陈教授最近 5 年每年 9 月在复旦大学有开课，要上一整个月的课，在复旦大学很受欢迎。最后补充一点，陈老师是很随和的人，也真的是学者的风范。像今天我说需不需要开一台车去复旦大学接陈老师过来，但是陈老师坚持说搭地铁来更快不堵车，包括中秋节之前的时候，我很荣幸能给复旦大学的学生介绍一下金融行业的情况，陈老师亲自到邯郸路的校门口等我，这里可以看出来陈老师是一个很朴实的学者。我的介绍先到这里，开始正题。我接下来把这一个小时的时间交给陈教授，掌声欢迎陈老师！

金融+物理

东京大学
大学院新领域创成科学研究科
人类环境学专攻
陈昱

陈昱：谢谢大家，首先要感谢高子剑老师还有魏建榕博士邀请我参加这么一个交流会，另外我内心感谢高老师的地方是他给我改了一个题目，金融+物理，这样的题目更适合在这样的场合讲，我（原来）那个题目更适合比较小型的会议。我虽然从事经济物理的研究有十年左右，但是实际上成果远远不够，自己的能力有限，今天特别是第一次和非常专业的人士交流我还是有点紧张，因为很多地方是我向你们学习，所以今天的报告里面可能有很多不足的地方有很多错的地方。没有关系，请你们指教。原来我想讲一个比较具体的实例，但是特别是高老师给我这个题目以后，我把它换成了对金融物理或者经济物理研究的一个回顾性的介绍，所以我会介绍比较多的研究的例子，每个例子不会讲的太深入，是这样一个情况。

报告人自我介绍

• 基本数据

- 姓名：陈昱 (CHEN, Yu)
- 所属：东京大学 大学院 新领域创成科学研究科 人类环境学专攻 (Department of Human and Engineered Environmental Studies)
- 专业：Simulation of Complex Systems 复杂流体系统 (胶质粒子自聚集等现象)，复杂经济社会系统 (经济物理)，复杂生物系统 (癌症的产生) <http://www.scslab.k.u-tokyo.ac.jp>

• 简历

- 1989年7月，毕业于上海交通大学热能工程系 (学士)
- 1989年10月-1994年9月，毕业于东京大学系统与量子工程专攻 (博士)
- 1994年10月-至今，就职于东京大学大学院工学系研究科、情报学环、新领域创成科学研究科，现任副教授

我的所属单位这里面已经写出来了。这是我的基本数据，我是现在在东京大学的大学院新领域创成科学研究科，我的学科叫人类环境学专攻。我们的研究室里有 16 名学生，其中有 9 名博士生，我们做的研究我把它归纳为复杂系统的模拟或者仿真，我们主要的研究方向有三个，一个是复杂流体，包括流体里面有很多的微粒子，第二个就是复杂经济系统，就是经济物理，第三个是我们最近在开展的方向，就是我们在研究癌症产生的过程，生物体也是一个复杂系统。这是我们的研究室网页。但是内容很多没有更新。我 89 年毕业于上海交通大学热能工程系，工作了一个月到东京大学，在那里读了 5 年拿了博士，然后留在东京大学任教。

报告内容

- 经济(金融)物理学的发展
- 经济物理学研究的分类
- 物理方法在金融学领域的应用
- 复杂系统科学中的金融学研究
- 关于经济物理的讨论与展望

今天讲的内容分为5块，第一个先给大家介绍一下所谓经济物理或者金融物理，我为什么纠结金融物理、经济物理。在日语翻译里面习惯翻译为经济物理，但是经济物理的研究对象90%以上都是金融，所以我这里面金融加了一个括号，之后的介绍里面，不管是经济物理还是金融物理两者是通用的。另外我介绍一下我的观点，我把经济物理学研究分为两类，每一个说一下它们的背景。然后我们再对这两个领域的研究向大家各介绍两三个实例，一个是物理方法的金融学领域的应用，另外一个复杂系统科学当中的金融学研究，最后我给大家一点小小的讨论和展望。整体是这样的过程。

1. 经济物理学的发展

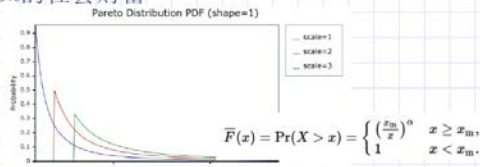
经济物理领域的里程碑

- Georg Graf von Buquoy [1815, Bohemia nobleman]

将经典力学应用于经济现象的尝试

- Vilfredo Pareto [mid 19th century, Italian engineer]

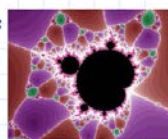
帕累托财富分布的发现：通过市场交易，20%的人将占有80%的社会财富



前面比较轻松一点讲一下经济物理学的发展，经济物理学的起始非常早。经济物理学的教科书都会介绍它的发展历史。比较统一的介绍就是说最早开始是1815年波希米亚的一个贵族，他写了一个论文，这个论文里面他首先提出要把经典力学利用于经济现象。第二个人就非常有名了——帕累托，大家都知道。讲的是通过市场的交易，20%的人将占有80%的社会财富，A股市场大家应该会看到这个现象，更加有名的是帕累托分布。

经济物理领域的里程碑

- Ettore Majorana [1930s, Italian theoretical physicist]
 - 传奇研究者：中微子的发现者, 1938年失踪
 - 最后的论文：“The value of statistical laws in physics and social sciences”
提出将量子力学应用于社会科学的研究领域
- Benoit B. Mandelbrot [1936, French and American mathematician]
 - 分形(fractal)现象的发现：
棉花期货的价格运动



之后是一位比较冷门的，可能大家听到爱因斯坦、薛定谔这些名字都知道，这个人也是一个传奇的理论物理学家，他是一个意大利的理论物理学家，为什么把他叫做传奇，一方面在物理学界他是中微子的发现者，但是很奇怪 1938 年突然失踪了，到现在都不知道到哪里去了。这个学者失踪之后发现他一篇没有发表的文章，这篇文章用意大利语写的，大多数人不知道，2011 年在量化金融杂志里面，有一个人把他的文章翻译成了英语，这个论文里面提出了，要把量子力学应用到社会科学研究领域。再下来一个，几乎于他同时代的——曼德布罗特，他大大有名，他有名在哪里，大家都听过分形，一般我们学分形还有研究分形的时候研究的是几何形状，曼德布罗特研究棉花的期货价格，他发现短时间价格的变动和长时间的价格变动有自相似性，在统计学上是相似的。正因为有这种相似性，所以他在这里面发现了分形，这是一个意外。他是这样的一个学者。

经济物理领域的里程碑

- P. W. Anderson [1988, Nobel laureate in Santa Fe Institute]
 - 物理学诺贝尔奖获奖者
 - 从磁性科学到复杂性科学

The economy as an evolving complex system



- First paper in the newborn field of econophysics

Physica A 179 (1991) 232-242
North-Holland



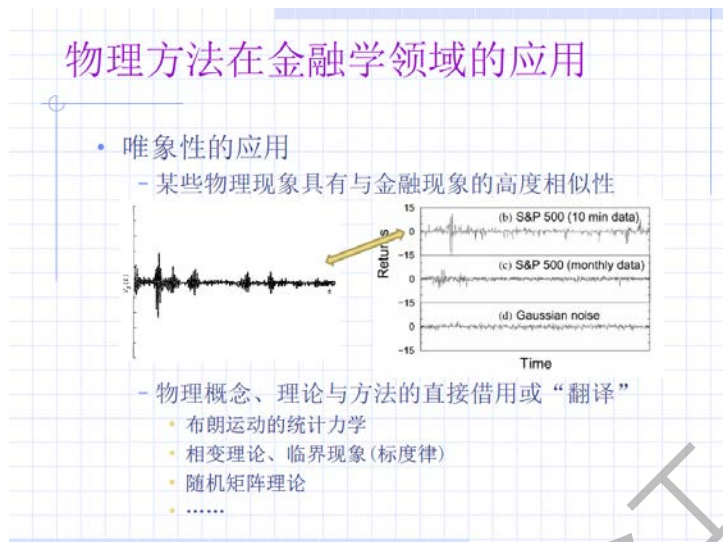
Lévy walks and enhanced diffusion in Milan stock exchange

Rosario Nanzio Mantegni
Max-Planck-Institut für Quantenoptik, W 8008 Garching, Germany
and Istituto di Fisica, via Archimede 36, I-00123 Palermo, Italy

接下来到了 1988 年，P. W. Anderson 同样是物理学家，磁性科学的研究者。在他的力推动下，他出了一本书，89 年我买了这本书但当时没有看。88 年的时候本书已经出版了，那个

时候已经开始了经济物理的研究。1991 年以后经济物理学发展的比较快。

2. 经济物理研究的分类



接下来把经济物理学的分类讲一讲，这是我的个人观点，我认为经济物理的研究实际上有两类，一类研究我们叫它“物理的方法在金融学领域的应用”。这是最直接最容易理解的一个研究，但是这个研究是一种唯象的应用。我们看右边的图是价格变动的时序列，最上面的图是每 10 分钟采一个数据得到的价格变动图，后面两个先不用看。这张图和左边的图比较一下，左边图是我们用热线风速仪测量的流动数据。当雷诺数非常高的时候，流场是非常混乱的。那个时候放一个热线风速仪能测这个流速的变化。有时候速度快有时候速度慢，这点和标普指数的价格时间变动相比较，我们可以说，某些物理现象和金融市场的现象非常相似，正是因为有这些相似性，才触动了搞物理的人，想我的方法能不能放到金融的研究领域里面去，这是非常自然的想法。这是刚开始搞金融物理的动机，非常简单，就是把物理里面的概念、理论、方法，直接借用或者翻译，这里面最有代表性的是布朗运动、统计力学、相变理论、临界现象、随机矩阵理论。一般人理解的这个就是金融物理，但是我认为这个东西的意义并不是特别大。因为现象相似并不代表机制一样，金融现象全是由投资者交易者行为引起的。机制不一样，但是不妨碍用它做一个工具去描述。



另外一类的金融物理研究是研究金融现象本质的方法，这个我把它叫做“应用复杂系统科学研究金融问题”，谈到复杂系统科学，我们必须把科学研究的方法论向大家介绍一下，科学研究的方法论有两类。一类我们叫“还原论”的研究方法，另外一种“整体论”的方法。还原论是什么。我举个例子，我们的流动现象是非常复杂的，有界面现象，有湍流各种各样的复杂现象，还原论者相信，对象很复杂，搞不清楚它是什么，但是我把它拆分缩小，小到你可以用微分去算它，它原理就简单了。那个时候它只遵从牛顿原理，只要拆分就可以简化，这是还原论。这种还原论的提出非常早，19 世纪就提出来了。Auguste Comte 认为这种方法不但能用到物理，而且可以用到社会经济现象，这是一个观点，但是这个观点行不通，很多实践证明是不对的。最有代表性的反方观点，Hayek 说你还原论的方法拆分在物理里面做得到，但是在社会系统里面做不到。在社会系统里面拆分之后可能集中到人，但是人的行为到那个时候简化不了，再缩小他还是很复杂的原理，所以不要指望以一套简单的原则解答复杂的问题，这是反对的观点。社会经济现象中存在不可还原的部分，除此以外社会经济现象存在自组织的过程。

应用复杂系统科学研究金融问题

• 整体论式的研究方法

- 以系统观点看待复杂现象(以价格运动为例)

- 金融市场是由大量交易者构成的一个系统
- 交易者间存在着博弈、信息传递、模仿等相互作用
- 交易行为产生了价格变动
- 价格变动又反过来影响交易者的交易行为和相互作用
- 因此：价格运动只是金融市场这个复杂系统的整体举动的一个表现

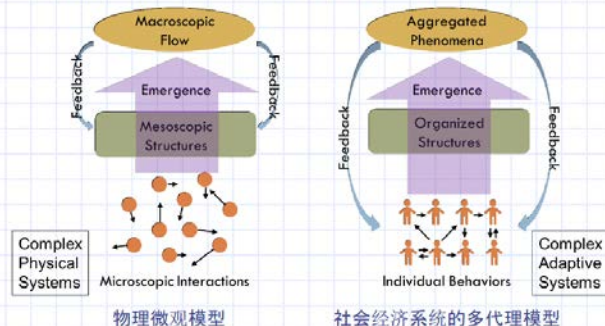
- 以系统理论解释现象的复杂性

- 涌现(Emergence)
从构成系统的个体的行为无法推测系统整体的举动
- 自组织(Self Organization)
系统自发形成稳定的内部构造，无需外力系统也能产生内生性的大变动

与还原论相反的有另外一套方法。以前不太受重视，叫整体论式的研究方法。我们看价格的变动，假如说以还原论的方法研究变动，我们相信价格在很长时间的波动是很复杂的，没法描述的，但是我们把时间的尺度缩到很小的时候它的运动也许就简单了，这是还原论相信的思维模式。但是如果你是一个整体论的研究者，你的思维是什么，你说这个价格的背后实际上是一个系统造成的，金融市场是由大量交易构成的系统。**交易者之间存在着博弈、信息的传递、各种各样的相互作用，相互作用产生了交易行为，交易行为产生了价格，价格的变动反过来影响着交易者的行为。**这就是一个典型的例子，不是盯着价格不放，要看价格背后的驱动力，也就是交易者的行为，这是整体论的出发点。有了这样的出发点，我们就可以用复杂系统的理论解释现象的复杂性。没有办法拆分，它就是一个整体，这是整体论的手法。

应用复杂系统科学研究金融问题

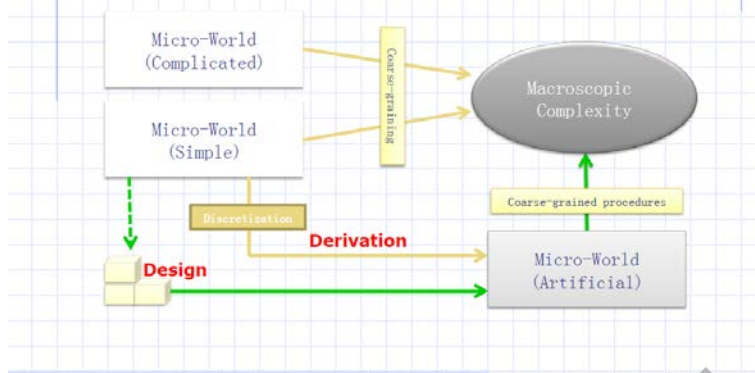
- 对非平衡统计物理模型的参照与应用
基于自下而上(bottom up)模型的数值仿真



整体论的手法在物理里面我们也是在利用,最典型的整体论的手法就是我们的统计物理模型,统计物理模型的思考方法是一种自下而上的思考方法,什么叫自下而上的思考方法呢。左边这张图是描述一个复杂的物理系统,它由粒子之间的相互作用形成微观构造,产生宏观的运动,又返回来到微观构造里面去。我们来观察一下金融市场或者社会经济系统,它是有非常类似的构造,一样的在微观世界里面是个体之间的相互作用,产生集团效果,集团效应产生了宏观波动,宏观波动反过来影响个体的行为。反馈一样都反馈,但是社会经济现象中反馈的比较深,基本构造是一样的。统计物理的模型,既然可以用在物理里,那么它也有可能利用在这个里面。但是有两个区别,一个我提到这个反馈的深度不一样,在物理领域它不可能影响到粒子的运动。第二个区别粒子的运动规则是不变的,而人会学习、会进化、会适应环境,行为规则会改变,这是一个非常本质的区别。这是我们的统计物理的微观粒子模型和社会经济系统的多代理模型之间的区别。这里还有一个问题,应用这种方法(多代理模型构建)还要先解决一个什么问题呢?这些粒子的运动的基本原理我们知道有能量守恒,质量守恒,而人的行为我们不知道或者知道得不完整,我们知道的还不足以让我们构建一个完美的模型。要解决这个问题,我们在构建物理模型时,我们用了一个简便的规则,这个规则是什么呢?就是说微观的行为和宏观的行为之间不是一一对应关系。微观的行为稍微改变一点,不会大幅度的影响宏观的行为,我们的兴趣是宏观现象,价格、成交量这些东西的变化。微观个体的行为也许不能做到完美的模型,但是简化微观的模型不能影响宏观的特性。

应用复杂系统科学研究金融问题

• The implication for model building



下面这张图大家理解起来比较容易一点。举个例子大家比较容易理解，我们想关心的是一个流动的现象，那么流动的现象它具体是什么东西在流动呢，有可能是水在流动，有可能是空气在流动，他们都是流体，但是这两种流动区分不开的。如果你进入水和空气的微观世界它们则完全不一样，你想这是水的微观世界，这是空气的微观世界。这两个世界经过平均化以后你看不出两者的区别。但是空气的微观世界比水的微观世界简单的多。你如果说我要做一个自上而下的流动的模型。要选择水为原形还是空气为原形，当然是空气为原形，因为简单。我不关心每个分子的命运。我只关心能不能得到宏观的流动信息。所以你有选择简化模型的空间。依据这个原则，我们出现一个构想，既然微观和宏观不是一一对应的，我能不能构建一个虚拟的微观世界，在这个虚拟的微观世界里，粒子的运动比空气分子还要简单，但是经过一个平均化以后得到的宏观现象和真实的微观世界平均化后得到的宏观现象是一样的，分不开的，那么这个就是可以用来构建模型的微观世界。同样的思想方法也可以用到我们这个金融市场里面，因为我们不清楚每个投资者交易行为的具体细节，但是经过一次的平均化的过程，你看不出真实的世界和虚拟世界得到的宏观现象之间的区别，它们之间是没有区别的。这是我们基本的思想方法。有了这个基础的思想方法以后，后面讲这个建模的过程，可能大家更容易接受这个建模的过程。现在我们把这个整体论的东西，“复杂系统科学在金融里面的运用”先放一放。我们回到用常规的物理方法在金融学的应用。

3. 物理方法在金融学领域的应用

价格运动的Langevin模型

- 花粉颗粒在水溶液中的布朗运动方程 (1D)

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -6\pi\mu a \frac{dx}{dt} + X$$

- 描述价格运动的Langevin方程

$$\frac{du}{dt} = -\frac{dV}{du} + \frac{1}{\lambda} \eta(t) \quad u(t) = \frac{dx}{dt}$$

$$\langle \eta(t) \eta(t') \rangle = 2\lambda^2 D \delta(t - t')$$

$$V(u) = \frac{(\gamma - a/\lambda)}{2} u^2 + \frac{b}{3\lambda} u^3 + \frac{k}{\lambda} (x - x_0) u$$

J.P. Bouchaud and R. Cont, EPJ B, 6, 1998

第一个例子是描述价格运动的力学关系。常规的随机漫步模型大家都知道，在物理里面随机漫步叫布朗运动，它的描述方法有好几种。我们可以用这个 Langevin 方程，它描述花粉在一维空间的水溶液里运动。x 代表花粉的位置，左边是花粉的加速度。花粉在运动中感受两种力的作用。一个力比较简单，因为在溶液里会受到水的黏性产生摩擦力。因为花粉的半径非常小，所以可以用 Stokes 公式来描述。另外有一个随机项 X，它描述很多的水分子的热运动对花粉造成的冲击，这个冲击是不规则的。既然不规则。我就用一个随机变量来表现，这是一个典型的 Langevin 方程。既然它可以描述花粉颗粒的不规则运动。仿造这个模式，Langevin 方程可以写出价格运动方程。我们把 X 定义为价格，价格运动的速度和这个方程的形式是一样的。这个是一个外力的项，这个外力写成了势能形，还有一个随机项，和 X 相对应的随机项，表示不规则的运动。

价格运动的Langevin模型

- 驱动价格运动的各种“力”

- 做市商 (Market Maker) 产生的力 (阻尼): $-\gamma u$

- 趋势交易者和反趋势交易者产生的力: $\frac{a}{\lambda} u$

• 趋势交易者主导时: $a > 0$

• 反趋势交易者主导时: $a < 0$

- 风险回避所产生的力: $-\frac{b}{\lambda} u^2$

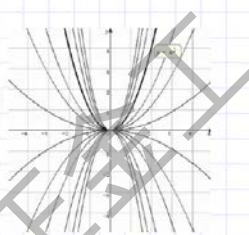
- 基本面交易者产生的力: $-\frac{k}{\lambda} (x - x_0)$

关键是力是由什么构成的。花粉粒子受到的力是流体黏性，驱动价格的这个力由后面的三个项构成。第一个是由这个做市商产生的力，阻尼，因为做市商是吸收订单使订单成交的，使供求平衡的，降低价格运动的速度。第二个项是趋势交易者产生的力， $a > 0$ 的时候是趋势

交易者主导，反趋势交易者主导时是 $a < 0$ 。还有一个力是以 b 为代表的一个力。它和上涨下跌无关，和上涨下跌的幅度有关系，是一个避险的力，当市场波动加大的时候投资者开始回避市场，这是一个通过风险回避所产生的力。最后还有一个第三项。这是一个由基本面交易者他们所产生的力。他们像一个弹簧力 k/λ 。一个弹簧拉开，拉开得越远回复力越强，正好描述价格偏离基本面的越远恢复的力越强，它是由这三项构成合力。

价格运动的Langevin模型

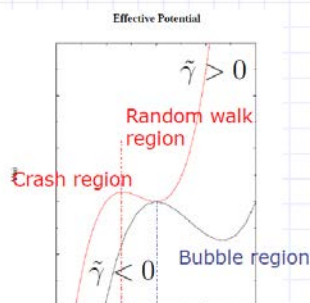
- 对价格运动Langevin方程的一些讨论
 - 假设：短时间尺度→基本面交易者的影响可忽略
 - 流动性高的市场： $\tilde{\gamma} > 0$
 - 趋势交易者主导的市场： $\tilde{\gamma} < 0$
 - 无风险规避行为情况： $V(u) = \tilde{\gamma}u^2$



对这个模型有比较有意思的讨论。首先我们简化一下，考虑的时间短一点。这样基本面交易者的影响可以忽略不计。我只看短时间的运用，第三项胡克定律没了。当 $\gamma > 0$ 代表流动性比较高的市场， $\gamma < 0$ 代表趋势交易占主导地位。趋势交易占主导地位的时候，描述势能的抛物线是反转朝下的，这个时候价格在中心附近的波动是不稳定的，因为稍稍向往左滑移就是价格崩溃，价格往右滑移就是价格泡沫。

价格运动的Langevin模型

风险规避行为与股价的崩溃



如果再考虑投资者的避险行为会怎么样？这项放进来以后势能的曲线变成这样了。有两根线。 γ 大于零的时候的这根红线，市场流动性很强； γ 小于零是这根蓝色的线，趋势交易

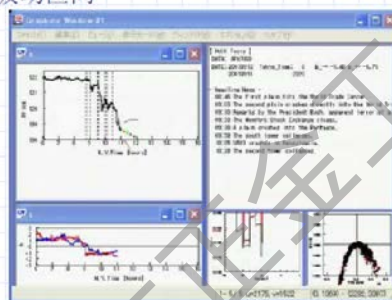
占主导。市场流动性很强时，如果你的趋势价格放在这个浅浅的势井的位置上面，这里面可以维持一个弱平衡。这里面微小的振荡没有关系。但这个振荡一旦加大。往右加大没有关系，势能的壁垒非常强，但是左边的壁垒非常弱，不小心可以滑到这个价格崩溃的走势。趋势交易者主导时，稳定状态是 u 经常大于零， u 代表价格上升的速度。 u 常规状况大于 0 的时候是一个价格泡沫状态。但这种情况下同样也可能由于很大的随机力，使得价格越过势垒进入崩溃状态。因为时间关系我就不讲了。

价格运动的Langevin模型

• PUCK模型

- 股价实时数据 $\Rightarrow V(u)$
- 实时预测价格的波动区间

http://www.smp.dis.titech.ac.jp/puck_demo.html



Takayasu, Mizuno, Takayasu, Physica A, 383, 2007

这个模型的另外一个发展是比较有趣的。它叫 PUCK 模型。这个是 2007 年东京大学的教授，三个人提出了 PUCK 模型。他们先不讲力是什么形式，而是直接从实际数据出发，把这个统计力的势 $V(u)$ 给求出来，实时去预测价格的波动区间。可以看一下用这个东西求价格波动的例子。大家注意这两张图。这个是用实际数据算出来的势能，是反转的。这个价格在这个区间发生了崩溃。这个网页是一个动画，刚开始势能是朝上的，随着时间的发展，慢慢这个势能是往下翻，价格就崩溃了。

股价崩溃前的对数周期幂律

• 泡沫破灭前的股价成长结构

- Faster-than-exponential increase
Log Periodic Power Law (LPPL)
- 加速震荡形态

$$y(t) = A + B(t_c - t)^\alpha + C(t_c - t)^\alpha \cos(\omega \log(t_c - t) + \phi)$$

• LPPL背后的关键假设

- imitative behavior of agents \rightarrow 非稳定态
- Discrete Scale Invariance \rightarrow 复数型临界指数
- FS prior to crash = PS close to phase trans.

• 价格LPPL动力学的意义

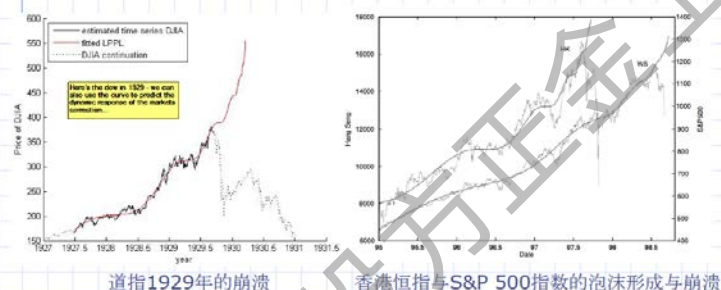
- 投资人间的协同性(α); 投资人的敏感度(ω)

D. Sornette, Why Stock Market Crash, 2003

另外一个非常有趣的应用就是关于股价崩溃前发生的对数周期幂律。我可以先这样讲，在物理的相变里面可以观察密度、温度，这些序参量在相变之前有一个非常快的变化，比指数速度还要快，这个东西在物理里面有两个假设，一个是离散的尺度不变性假设，可以推导出参量的变化是以这种形式变化，这个公式里面要注意两个变量，一个是 t_c ， t_c 是相变的那点，另外一个 ω ，它是振动的频率。如果考虑金融市场崩溃前后也是一个相变，在崩溃之前价格的运动是不是也应该遵守这样的公式呢？前提是金融系统在崩溃之前，与物理系统在相变之前是一样的。这是一个前提。因为这个东西没有太多的工具，也有好多人批判这个理论、不接受。所以我没有把它作为主题跟大家介绍。但是我们也在做这方面研究，我们用多代理模型来研究为什么会产生这样的波动。

股价崩溃前的对数周期幂律

对数周期律的拟合



道指1929年的崩溃

香港恒指与S&P 500指数的泡沫形成与崩溃

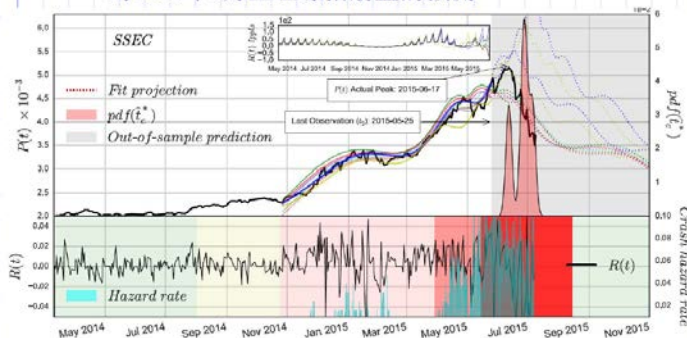
我们看到用周期幂律拟合，很多市场崩溃前的走势都能得到 α （协同性）和 ω （敏感度）。振动模式 ω 比较稳定， ω 代表投资者的敏感度。大家要问了，我们的 A 股它预测了没有？事实上它预测了。

股价崩溃前的对数周期幂律

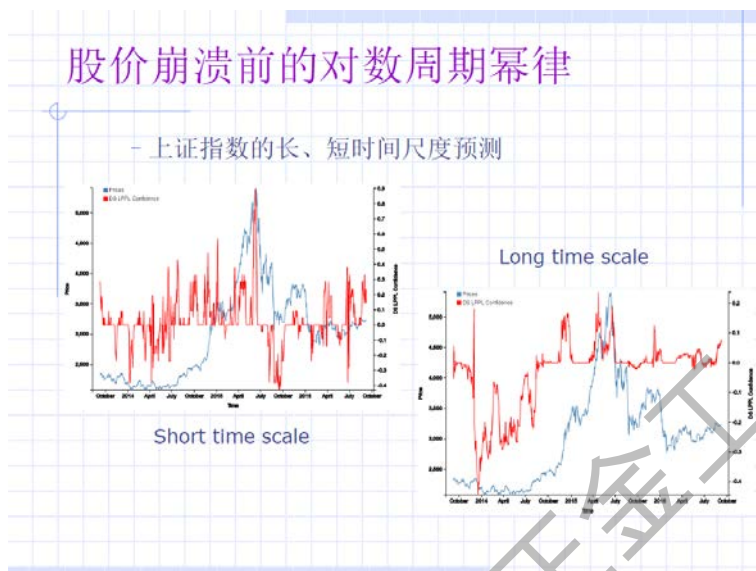
金融危机监测站-LPPL理论的应用

<http://www.er.ethz.ch/financial-crisis-observatory.html>

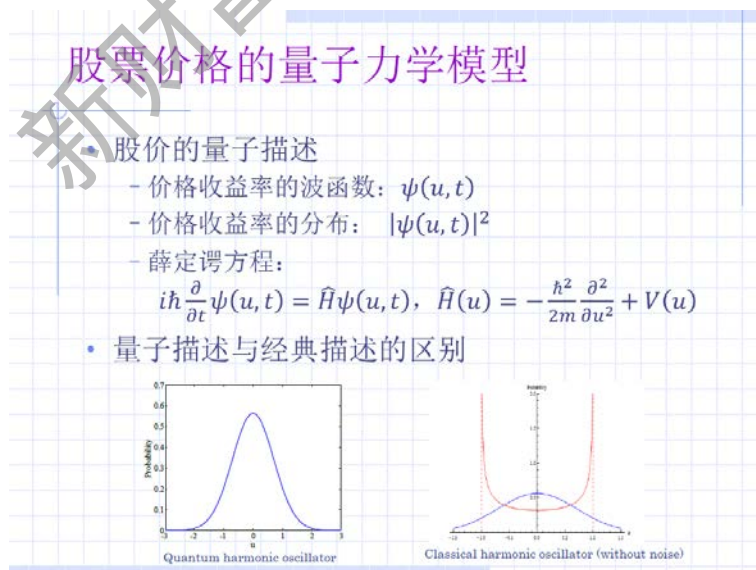
对2015年6月上证综指崩盘的预测



你可以看一下这个网页。它用这个方法成立了一个金融危机监测站，这是去年预测的我们 A 股发生的股灾，两个峰代表什么呢。代表他预测的可能的 t_c 时间点，这里面有两个峰，一个是落在 6 月份，完全吻合，价格约往上涨越振荡，振荡的频率越来越高。这是对于去年股灾的预测。



其实他现在也预测。前几天我看了一下它的网站，现在更加完善了一些，它有一些长线的预测，也有短线的预测。这张图上面蓝颜色的是上证指数，红的是他自己设置的指标，衡量 t_c 发生在这个时点的可能性有多大，叫信心指数。这个指标有往上的、有往下的，往下的是反向的 bubble，就是下跌中的转折点在哪里出现。第一次股灾的时候长线预测非常精准，在这里崩溃了。第一次的反弹他也在预测。当然，我们的技术分析不一定比他差，可以看看哪个更好一些。

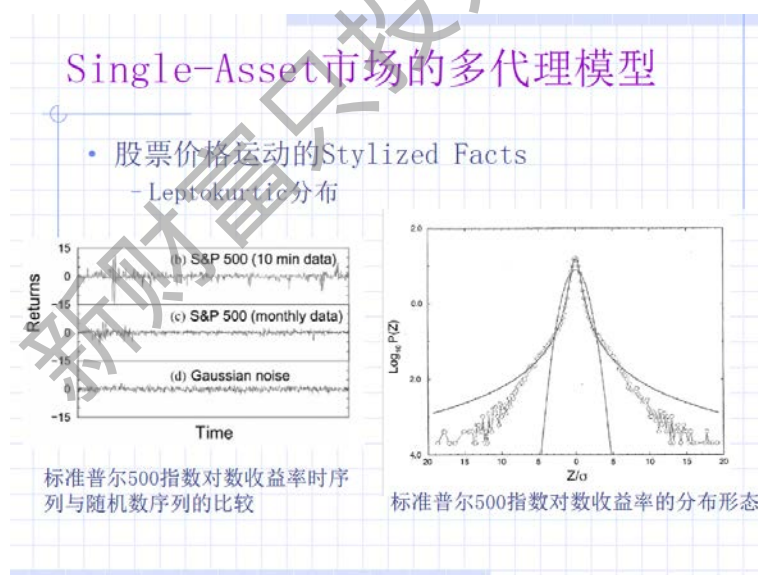


另外还有一个萌芽阶段的工作，就是用量子力学描述价格的变动。为什么会产生这样的研究动机呢？你既然可以用花粉粒子的无规则运动描述价格的运动，那么物理世界里同样具

有不确定性的还有量子。这样我们是不是可以用量子力学描述价格的运动？我把这个简单的想法说一说，为什么用量子，优点在哪里。在量子世界里面和经典世界不一样，经典世界描述一个粒子我们可以描述它的位置、速度，价格也是这样，你如果知道哪个时间在哪个位置、速度多大，就知道了这个发展的过程。量子世界里面因为波粒二象性的原因我们不关心它的位置、速度，我们关心波函数，我们可以知道它所有的物理参量，你要知道它的动量、能量，这个波函数我们现实当中观察不到，我们观察到动量、能量的分布，它和分布函数之间的关系很简单，是由各种演算子联系起来的。波函数的方程是什么，是薛定谔方程，这个薛定谔方程是这样写的。这个哈密顿量里面两个项，一个是动能项，一个势能项，我们可以借鉴花粉粒子的势能到这里面来。同样把这个势能简化成一个抛物线的势能——不考虑基本面交易者的影响，也不考虑避险性，只考虑做市商和趋势交易者放在这里面。这样相当于我们物理里面的一个钟摆，那么这个钟摆呢，是量子世界里面的钟摆，量子世界里面的钟摆和经典世界里面的钟摆又不一样，经典世界的钟摆很容易理解，我们把经典世界的钟摆数据全部记录下来，画一个位置是这样的，两个峰，两个峰上停留的时间最长，这样的分布显然和我们价格的分布不一样。量子世界里面的钟摆同样算一个分布函数，离我们真实的价格就非常接近了。利用量子力学不需要随机项，这是主要动机。后来我们在这里面又加了一些其他的东西，这是后话，今天不做介绍。

4. 复杂系统科学中的金融学研究

刚才这部分，我们讲了三个例子，说明物理方法在金融学领域的应用。它只是描述性的，用物理的方式描述价格，但是价格变化的真实原因不在里面。我比较看好的是复杂系统科学中的金融学研究，就是刚才说的，我们用一个自下而上的模型来解释这个金融学里面发生的现象。这里面给大家介绍两个例子。



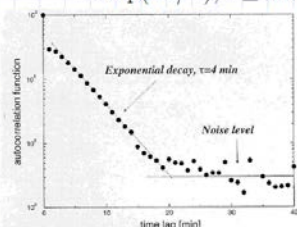
一个是 Single Asset 的市场多代理模型。这张图片给大家看的目的是为了检验最后模拟出来这个模型对不对，我们有一个参照。图片的曲线相信大家非常熟悉。第一个价格运动的 stylized facts，我们不画这个图肉眼也能识别，这个数据计算它的平均值，标准差，产生的随机数是这个，平均值和标准差来看它们两个是一样的，右边的分布曲线更容易看出来价格变动的统计和高斯分布是不一样的。

Single-Asset市场的多代理模型

- 股票价格运动的Stylized Facts
 - 对数收益率自相关中的长时尾

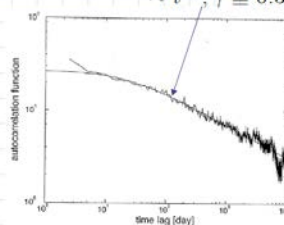
指数衰减

$$\sim \exp(-t/\tau), \tau \cong 4 \text{ min}$$



幂律衰减

$$\sim t^{-\gamma}, \gamma \cong 0.3$$



标准普尔500综合指数的对数收益率及其绝对值的时间序列中的自相关函数

另外一个重要的特性是自相关，这个非常有名的就是关于对数收益率的相关性。价格变动中本身的自相关是很快消失的，特征时间是4分钟，非常快的消失，你要预测价格的变化几乎是不可能的。但是有一个例外，你如果不考虑价格变动，我不看方向只看大小。再看自相关函数，它的衰减非常缓慢，不论是大盘指数、个股还是期货，都是这样的。它有普遍的存在规律。我们构建一个模型来解释为什么这个会发生，它发生的主要原因是这样的：们叫它这种特性的分布我们叫价格波动率的“间歇性的爆发”现象。也就是说价格的变动，一会儿大，一会儿小。

Single-Asset市场的多代理模型

- 模型构建的基本思路(B. Arthur)

- El Farol Bar问题

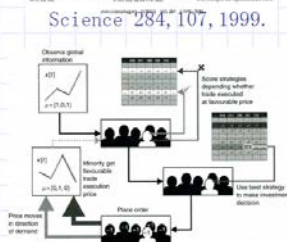
包含了市场博弈的所有特征
多数参与、反馈、竞争、适应等
强调市场状态的非均衡性与
交易者决策的非理性化

- 模型的基本架构(Minority Game, Challet & Zhang)

- 全局信息的产生→策略更新
- 投资者依据策略进行决策
- 根据订单产生供需
- 更新价格并产生新的信息

Complexity and the Economy

Science 284, 107, 1999.



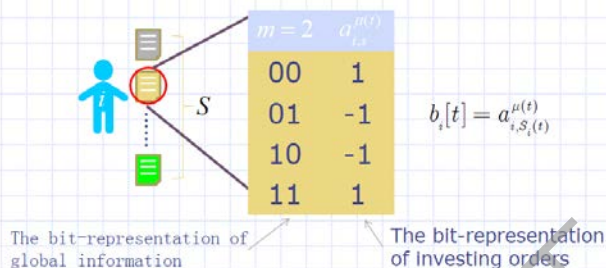
建模的基本思路是一位经济学家，少数派博弈的鼻祖 B Arthur 写的一篇文章，是所有研究者的出发点。在这篇文章里他提出了 EL Farol Bar 的问题。这个模型里面包含了市场博弈所有的特征：多数参与、反馈、竞争、适应等所有的东西。他写这篇文章的目的是强调传统的金融学不适合市场状态。市场状态是非均衡的，另外交易者的决策是非理性的。把这思路转变成计算机仿真的模型的是 Challet 和 Zhang, Zhang 是张翼成，非常有名的物理学家。

下面这个模型是把这个东西翻译成了一个市场模型，这个流程是这样的。价格更新了，

产生了新的信息，这个信息促使每个交易者更改他的策略，更新以后投资者对更新的策略进行决策，决策之后产生订单，订单产生供需，供需通过价格影响模型，再产生新的价格，周而复始。这个模型的细节我没有时间介绍了，我们直接跳到最后。

Single-Asset市场的多代理模型

- 基于全局信息的投资策略



Single-Asset市场的多代理模型

- 投资者的适应性归纳学习过程

- 投资策略的评估

$$U_{i,s}(t+1) = U_{i,s}(t) - a_{i,s}^{\mu(t)} A(t)$$

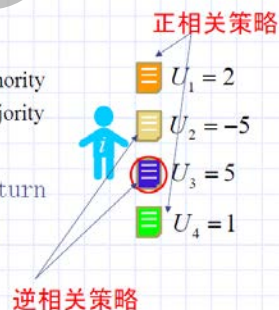
$$a_{i,s}^{\mu(t)} A(t) \begin{cases} < 0 & \text{when } i \text{ is minority} \\ > 0 & \text{when } i \text{ is majority} \end{cases}$$

- 利得函数的特性

Minority = Positive Return

通过策略的切换实现适应

$$S_i(t+1) = \arg \max_s U_{i,s}(t)$$



Single-Asset市场的多代理模型

• 不交易策略

The 0-strategy: $a_{i,0}^{(t)} = 0$
nonparticipation of the market

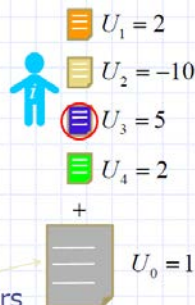
0-strategy的评估

$$U_{i,0}(t+1) = U_{i,0}(t) + \varepsilon$$

实行交易的条件

$$U_{i,x \neq 0}(t+1) \geq U_{i,0}(t+1)$$

Only for speculators



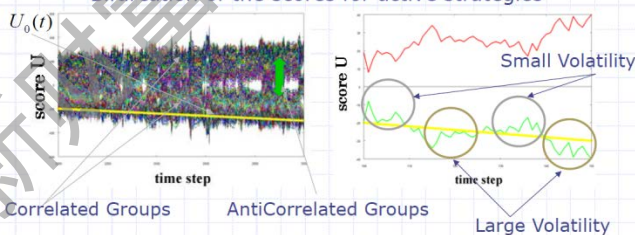
这个模型,更重要的是它的机理,为什么会产生这样的特征,我不知道大家能不能听懂。因为前面的细节说明跳过了,我来尝试直接告诉大家答案是什么。这个模型里面所有的投资者持有不同的策略,他们的策略是不一样的,这个策略是初始条件给他的,所以得看运气。有些人的策略比较好一点,有些人的策略比较差一点。

Single-Asset市场的多代理模型

• 波动率簇集的涌现—Stylized Facts的产生机制

— 低市场参加阈值的情形

Bifurcation of the scores for active strategies



这张图是随着时间的变化,我们策略出现了分化。左边的图,有一组策略的评分随着时间往上走。也有一组随着时间往下走,意味这种策略不好。重要的是这两组策略互为逆相关策略,上面持有好策略的人要买的时候,下面坏策略的这群人要卖。上面的人要卖的时候,下面的人要买,他是逆相关的。有一根黄线,这个黄线是什么呢,无风险资产的收益率。为什么是负的呢?因为考虑到通货膨胀。右边的图,黄线是策略的“存亡线”,它造成上面的人永远在上面玩,而持有下面策略的人只有两个时间段在场,比黄线低他就离场了。两组同时在的时候,供需恰好平衡,因为买的人、卖的人都在。

如果下面这组人因为自己的收益不好离开了市场，就剩下上面的这组人。上面这组人，他们的策略很类似，因为他们的分数随着时间同时在增长，他们是持有类似策略的人，他们没有对手，这时候市场失去平衡波动增大。这个价格的波动就一会儿大一会儿小，他们进场的时候价格波动很小，离场的时候价格波动很大。这是我们模型里面的解释。当然，并不是说真实的市场就一定是这样，这个模型只是一个解释，只是告诉你这样的一个 story。

Multi-Asset市场的多代理模型

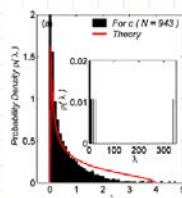
• 个股间价格运动的相关关系

- 相关矩阵 vs 随机矩阵理论 (RMT)

$$C = \begin{bmatrix} c_{1,1} & c_{1,2} & \cdots & c_{1,N} \\ c_{2,1} & c_{2,2} & \cdots & c_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{N,1} & c_{N,2} & \cdots & c_{N,N} \end{bmatrix} \quad \rho(\lambda) = \frac{Q}{2\pi\sigma^2} \frac{\sqrt{(\lambda_+ - \lambda)(\lambda - \lambda_-)}}{\lambda}$$

$$\lambda_{\pm} = \sigma^2 \left(1 \pm \sqrt{\frac{1}{Q}} \right) \quad Q = T / N, N \rightarrow \infty, T \rightarrow \infty$$

- 本征值谱与本征向量成分



u2			u1		
权重(分量)	股票代码	股票名称	权重(分量)	股票代码	股票名称
0.104861	601169	北京银行	-0.107272	600362	江苏银行
0.104759	600000	浦发银行	0.106906	600488	山东黄金
0.102736	601328	交通银行	-0.102050	600198	贵州茅台
0.100726	601166	兴业银行	-0.101818	600175	中国石化
0.097729	600036	招商银行	-0.101523	600584	海螺水泥
0.09621	601009	招商证券	-0.101169	601699	潞安环能
0.093512	600016	民生银行	0.099914	600639	山东黄金
0.093244	601988	中信银行	-0.098942	601168	华新水泥
0.092672	600015	华夏银行	0.098851	600531	鲁光金粉
0.091155	601668	中国建筑	-0.097444	600911	海螺水泥

罗伟杰、何志航，经济物理课程组，2015

另外一个问题，我们做投资组合的时候，也关心个股价格之间的相关性。个股价格的相关性反应在相关矩阵上，这个矩阵大家知道是一个对称矩阵，上面的各个要素反映的是个股之间的价格的相关性。它的对角线是每个个股的波动率。有了这个相关矩阵我们就可以把最佳投资组合的权重算出来。与这个矩阵相对应物理理论的是随机矩阵理论。个股之间的价格是不是具有相关性，你要有一个比较的对象。现在有两个矩阵，一个是用真实的数据算出的相关矩阵，另外用计算机随机产生一个相关矩阵，随机产生的矩阵叫随机矩阵，对这两个矩阵进行本征值与本征向量的分析。个股价格相关矩阵的本征值分布的一个最大特点在于，它有一些本征值分布于随机矩阵的本征值分布之外。随机矩阵本征值范围的左侧和右侧都有价格相关矩阵的本征值存在。它的意义今天没有时间说。另外本征向量的成分的含义也没有时间说了，也很有趣。

Multi-Asset市场的多代理模型

多代理模型的架构

Agent参数

- 风险资产投资占总资产的份额: $\gamma_i(t) \rightarrow \sigma_Y$
- 对个股收益认知的偏差: σ_{info}
- 投资组合中个股的权重: ω_i^j

两类Agent

Noise agents

- 完全分散投资: $\omega_i^j = 1/J$; when $\sigma_Y / \sigma_{\text{info}} \rightarrow 0$
- 板块跟风投资: $\omega_i^j \propto P_j$; when $\sigma_Y / \sigma_{\text{info}} \rightarrow \infty$

Speculators

$$\text{maximize } \omega^T \mathbf{r}(T_i)$$

$$\text{subject to } \mathbf{1}^T \omega = 1$$

Mean-Variance的优化

$$\omega^T \Sigma(T_i) \omega \leq \sigma_{\text{MarketIndex}}^2(T_i)$$

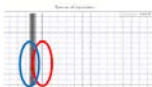
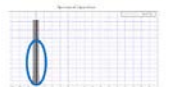
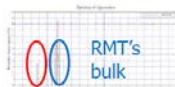
$$\omega_j \geq 0, (j = 1, 2, \dots, J)$$

为什么会产生这个现象，我们也用一个 Multi-Asset 市场的多代理模型来解释。在这个模型里每个投资者要决定一个风险资产投资占总资产的份额比重 γ ，我们赋予 γ 一个随机的过程，这个标准差 σ_Y 控制了投资者投入风险资产的总额的波动，另外还有一个标准差 σ_{info} ，它代表投资者对个股收益的认知的偏差，最后还有一个投资组合中每个个股的资金权重。这里面有两类 Agent，一个是 Noise agents，他们是完全分散投资，不管哪个股，每个个股里面几乎投同样的权重的钱。这是第一个情况，这个情况什么时候发生，当投资者的认知偏差非常大的时候。个股和个股之间的收益率其实不一样，但是投资者也认知不了，它认为每个个股都是一样的，只能均等的投资。另外当认知偏差比较小的时候。他能认识哪些是好的股票。哪些是不好的股票，这种情况下投资者就板块跟风，所以资金权重跟个股的收益率成正比。另外还有一组投资者是比较聪明的，我们叫他 Speculators，在固定收益率下控制自己的风险。他们遵循 Markowitz 的投资优化理论利用相关矩阵优化计算个股的投资权重。

Multi-Asset市场的多代理模型

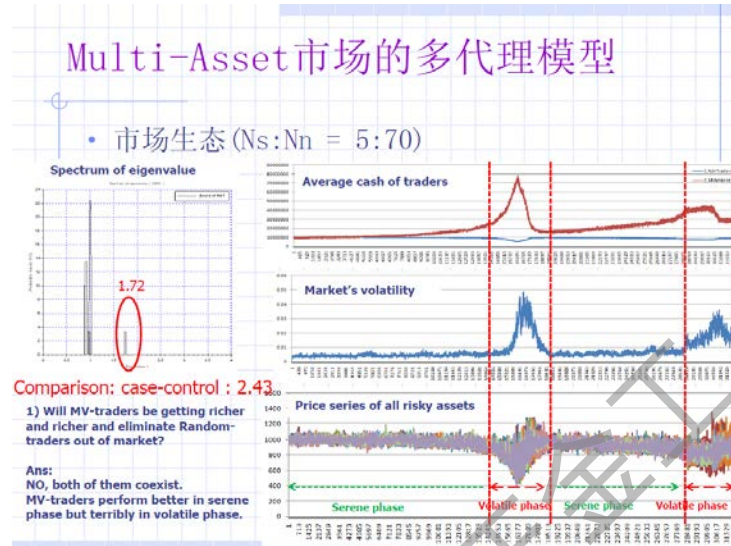
相关矩阵本征值谱的形成机制

$\sigma_Y / \sigma_{\text{info}}$	Zero	Small	Large
Structure	Frustrated-structure	Random-structure	Synchronized-structure
Significant eigenvalues	λ_{\min}		λ_{\max}
Feature	All stocks anti-correlate with each other	All stocks are independent of each other	All stocks correlate with each other

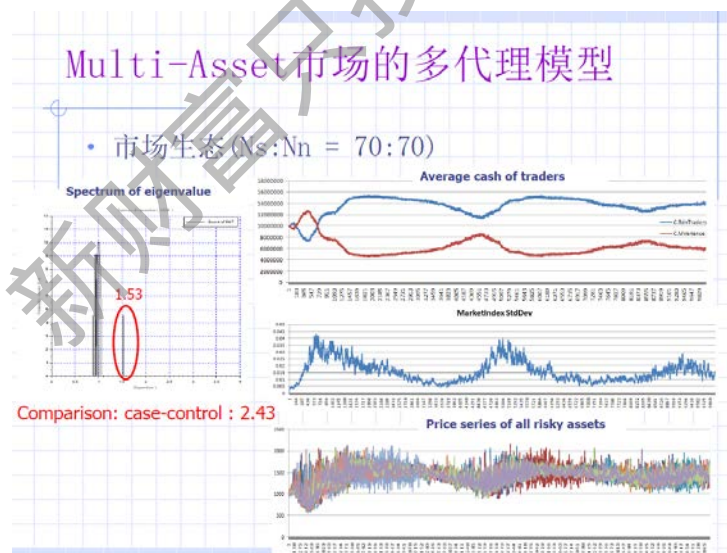


在模拟的结果之中我们发现一个有趣的现象。这个系统里面控制的变量是这两个标准差之比。当这个比为零的时候，你可以看到本征值在左边，随机矩阵预测的本征值边界的左边，

这个本征值的出现代表所有的个股的价格运动都是反相关的。 σ_Y 为零一位之投入风险资产的资金总量守恒。这时候你投了一个板块，另外一个板块的钱不就少了么，所以是相反的。这个时候造成了本征值从左侧溢出。当 σ_{info} 比较小，标准差比较大时投资者完全能认知哪个板块涨得好，然后去跟风，这个时候造成股价相关关系上升，造成了本征值从右侧溢出。这是用模型来解释。



另外还有一个有趣的事情，假如我们把比较聪明的投资者放进来，他们是做优化投资的。这些比较聪明的投资者利用了 noise 投资者创造的个股间的相关关系获益，他们的平均现金要高于 noise 投资者。但同时这种套利行为也同时消灭了个股间价格运动的相关关系，因此本征值从右方移动到左边更加靠近随机矩阵的本征值范围的地方。



但是，假如说做优化投资的人太多了。70 对 70，事情就反过来了。反而是比较笨的投资者做的更好，收益率更多。每个人都想优化聪明投资者间一定会发生竞争，反而不好做，还不如完全分散投资，比你做优化的结果要好的多。

5. 关于经济物理的讨论与展望

什么是经济物理学

- 简单直白的定义：物理方法在金融领域的应用
 - 唯象性
 - 发展
- 抽象化的定义

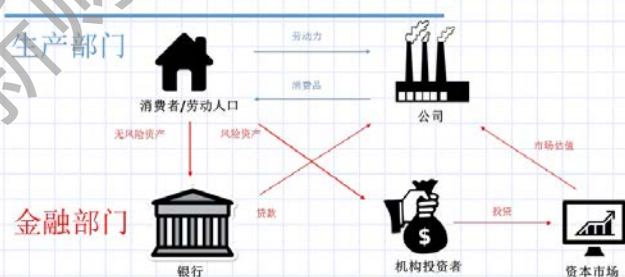
A quest for common principles, common tools, and common consequences found both in physics and economics.

- 我的定义：在复杂系统科学领域中研究经济/金融问题——经济/金融物理学

最后一部分，我想先回答第一个问题，什么是经济物理学。来这个午餐会之前可能每个人心理的想法都是这样的：经济物理就是物理的方法在金融领域的应用，这其实是经济物理学的第一个定义。但是我更愿意向大家推荐下面这个定义——在复杂系统科学领域中研究经济金融问题，这是我把中间这个抽象的定义具体化了，物理与经济到 common principle 就是关于复杂性的原理和研究复杂性的方法论。将来的展望再给大家说一下，我认为金融市场的研究一定要用系统的方法，不能单单指定的金融市场，你要盯着整个的金融系统，如果把金融市场和整个经济系统结合在一起研究，那就需要创设系统金融学。我们知道有系统生物学。为什么没有系统金融学？应该有的。

包括金融市场的宏观经济系统模型

- 基本框架



四类代理人间的相互作用

1. 消费者

- 根据各公司的产品价格货比三家，价低者多消费；
- 劳动力提供者；
- 配置风险资产和无风险资产。

2. 公司

- 提供消费品，根据上一期的供需关系和竞争者情况调整产量与价格
- 为劳动力提供者付出工资；
- 寻求金融支持。

3. 银行（贷款提供者）

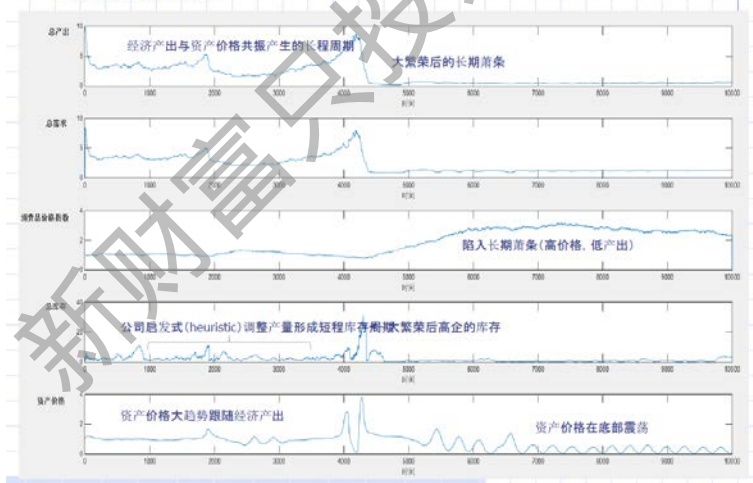
- 贷款提供者，根据公司财务杠杆设定贷款利率。

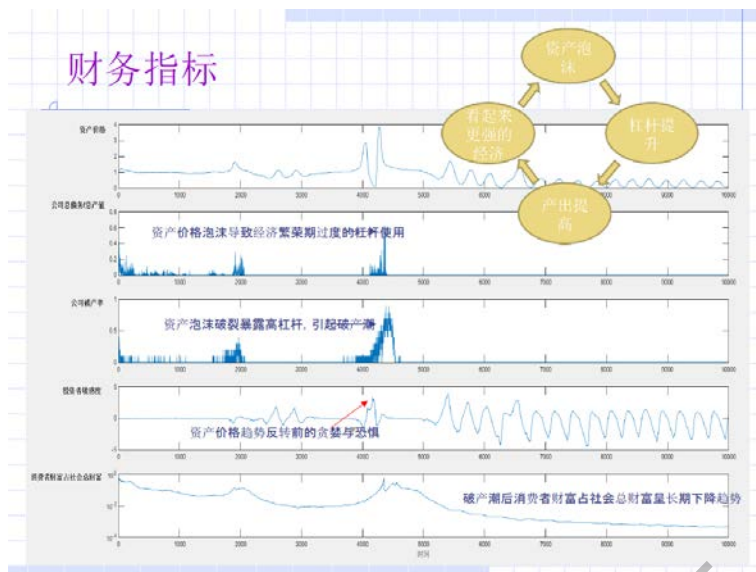
4. 机构投资者

- 根据公司财务情况和私人信息评估公司，为消费者的风险资产部分设计投资组合。

这个尝试在我们组里面已经开始了。我们这个系统比较简单，有生产部门，包括消费者/劳动人口、公司；金融部门有资本市场、银行；有机构投资者在投资。运行规则是：消费者提供需求，提供劳动力，配置风险资产和无风险资产，一部分存银行。另外，公司提供消费品、生产，银行提供贷款，机构投资者帮助这些消费者在风险里面投资。

经济指标





我们的目前得到的初步结果是这样的。这里面有几个指标，最上面是GDP的指标，下面是金融市场的指数指标。我们可以看到，这个金融市场里面有两种周期，一个是小周期的波动，一个是长周期的波动，经历这一个大周期波动以后整个市场再也起不来了。小周期的波动完全是由于厂商库存的积累造成的。这个大的波动我们发现它是和资本市场的泡沫有关系的，当资本市场的泡沫崩溃以后，它的经济很难再恢复。崩溃的这个机制是什么呢，我们现在给出的一个图是这样的：资产泡沫一旦形成，每个公司的价值会被高估，以至于他们的杠杆会提升，债务提高，过剩的产出，这样看起来经济更好，资产泡沫更大，这样反复的循环，总有一天崩溃，就是这样的一个机制。

由于时间的限制，以上就是我今天的简短交流，谢谢大家！