

田崎秀一さんの思い出

小嶋 泉（京都大学数理解析研究所）

田崎秀一さんは、恒藤敏彦先生の大変優秀なお弟子さんで、1989-93 年の期間、ブリュッセル・ソルヴェイ研究所のプリゴジンのところへ留学し、そこで不可逆性について研究を始められたとのこと。帰国後、奈良女子大理学部へ移られる前の2年ほどを京都下鴨にあった基礎化学研究所で過ごされ、同研究所で1995年に開かれた非平衡統計力学のシンポジウムで同席したのが、多分、田崎さんにお会いした最初ではないかと思います。大変誠実で控え目なお人柄の一方、研究に関わる問題で話される内容は、いつも非常に明晰なのが印象的な方でした。田崎さんとの学問的・人間的交流の思い出を辿ることで、その素晴らしいお人柄を偲ぶよすがになれば幸いです。

最初に包み隠さず率直に申しますと、非平衡状態とそれが内包する散逸性・不可逆性の問題には、私自身も'80年代後半から'90年前後コミットしていたので、本当なら田崎さんのご研究との接点は幾つもあるはずでしたが、プリゴジンを巡る私の「こだわり」ゆえに、田崎さんとフランクなお付き合いができるまでに無駄な長い時間を費やしてしまいました。'80年代前半、ユニタリー時間発展を金科玉条にした保存力学系とそれを破る散逸系の二律背反的対立に悩んだ私は、散逸過程を通じての秩序構造形成を主張するプリゴジンの「散逸構造」の考えに強い魅力を感じたのですが、詳しく検討しようとする問題の数学的扱いで核心を逸らす彼のやり方に不満をため込んでいました。プリゴジンとのそういう「ダブルバインド」的關係が、田崎さんとの関係にまで影を落としていたのです。

しかし、それは私の皮相な思い込みに基づく誤解に過ぎませんでした！：田崎さんの名著『カオスから見た時間の矢』（講談社ブルーバックス、2000年）をひもとくと、[ミクロの可逆性とマクロの不可逆性]というこの難問に対して、如何に彼が誠実に正面から取り組み、深く掘り下げて考え抜かれていたかがひしひしと伝わり、感動を抑えることができません。その第2章「時間反転の実験 -- スピン・エコー --」での微視的可逆性の reality に関する説明は圧巻で、それを読むだけでも十分価値があると言ふべき内容ですが、続く第3章「ギブスの見方 -- 統計集団の考え方 --」では、

『このギブス集団については二通りの解釈がなされている。

第一の解釈では、各瞬間における物体の微視的状态は、日常経験から類推されるように、確定していると考え。この場合には、私たちが観測できるのは、各瞬間における微視的状态ではなく、原子・分子の運動と比較して十分に長い時間にわたる平均的な振る舞いであるとする。そして、巨視的に何の変化もない熱平衡状態にかぎって、長時間にわたる平均的振舞を記述するのにギブス集団を使うことができると考えるのである。ギブス集団は計算の補助手段にすぎないととるのである。...

第二の解釈では、各瞬間の微視的状态は、ギブス集団で表されるように実際に確定していないと考える。この解釈をとれば、第一の解釈のようにギブス集団が使える条件を吟味する必要がない。そして、物体の状态が熱平衡からはずれている場合(このような状態を非平衡状態という)にも、熱平衡状態と同様、巨視的状态がギブス集団で記述されることになる。

第二の解釈を初めて提唱したのは他ならぬギブスである。さらに彼は、この解釈にもとづくと、任意の状态が時間とともに熱平衡状態に向かうという性質が説明可能なことを指摘した。

ギブスのこのアイデアに「不可逆性の問題」を解決する鍵がある。』(pp.119-121)

という微視的状态 vs. 巨視的状态の相互関係についての鋭い問題の位置づけに続いて、この状態概念を巡るミクロ・マクロの関係が動力学との関係でどう展開するか？が第4章「カオス」で論じられる、という筋書きです：

『第3章では、物体の微視的状态が確定しており、(6×10^{23} 次元の)相空間の一点によって表されるとすれば、分子運動の可逆性と巨視的現象の不可逆性が両立しないことを見た。これは、物体の状态変化が結局は一個の分子運動と同等になってしまうからである。

他方、熱平衡状態における原子・分子の挙動を調べると、一つの巨視的な熱平衡状態には多数の微視的状态が対応し、個々の微視的状态が定まった実現確率をもつことがわかる。このような巨視的状态は、相空間に分布する「雲」のようなギブス集団で表すことができる。前章で紹介したように、ギブスは、熱平衡でない巨視的状态もギブス集団で表わされると考えた。

ギブス集団では、時間がたつと集団を構成している多数の点の相互関係が変わる。後述するように、ここに「時間の失」の向きを刻むことができるのだが、ギブス集団をもち込むだけでうまくいくわけではない。

ギブス集団で表される状態は、いつも熱平衡状態に向かって変化するわけではなく、原子・分子の微視的運動が特定の性質をそなえていなければならないのである。

その一つがカオス性である。』(pp.124 -- 125)

同じ「パイクネ変換」の動力学を分析するにせよ、状態概念の捉え方が曖昧なまま、時間演算子の形式的扱いに終始して私を途方に暮れさせたプリゴジンの議論との違いはもはや明らかです。

そうこうするうち 2001 年 9 月田崎さんは、量子確率過程論の創始者の一人、ローマ大学の Prof. L. Accardi と共に早稲田大学で、量子物理学における基礎的諸問題についての日伊共同ワークショップを開催されました。その折、相対論的量子場理論での局所熱的状态に関する Profs. Buchholz & Roos との私の共同研究について発表の機会を与えて下さっただけでなく、全く予期しなかったことには、'80 年代末、長谷川洋先生、故・一柳正和さんとの議論を契機に取り組んだエントロピー生成と非平衡定常状態を巡る私の研究成果をご自身の講演の中で大きく取り上げ、その後、親しくお話しする機会を与えて下さったのです。それは、田崎さんと私との間を隔てていた無用の「カベ」の溶解、それも田崎さんのイニシャティヴによる、ということに違いないのですが、愚かなことに、その当時田崎さんの研究深化を知らずにいた私は、その深い意味をはかり兼ねていました。という

のも、「エントロピー生成」概念は、周知のようにプリゴジンの非平衡熱力学・統計力学の中で中心的役割を演じた概念であり、よりによってそのテーマを巡って田崎さんが私の研究を評価して下さるなどとは、「想定外」のことだったのです。

この後、田崎さんが非平衡状況の物理的記述に C^* -代数的定式化を大胆にとり入れ、量子ドット等々 **actual** な諸問題を快刀乱麻のように解析されて行ったことは、非平衡統計力学の多くの研究者の方々がご承知の通りです。

こういう文脈の中で田崎さんの人間関係の律し方、そして、研究内容の扱い方を振り返れば、最初に申し上げた「大変誠実で控え目なお人柄」、「研究に関しては非常に明晰」という形容が、決して表面的で偶然のものではなかったのだということが、改めてよく分かります：相手の付き合い方が水臭いかどうかとか、自分の関与するテーマについて誰が先で誰が後かとか、そんな瑣末なことはどうでもよく、互いに人間として分かり合えるか否か、何が真理なのか。本当に大事なのはただそれだけであり、素直にそれに従って判断して行けば、後のことは自然に道が開けて行くはず。そういう高潔なお人柄、柔軟で生き活きとした研究テーマへの関心の持ち方が、田崎さんの全てを律していたのだ、ということが、常に実感を以て迫って来る思いがします。

その後の田崎さんとのお付き合いを振り返れば、2005 年 3 月、尾畑さんと私を早稲田大学でのシンポジウムに招待下さったり、量子情報理論の大矢雅則さん（東京理科大学教授）と飛田確率解析の飛田武幸先生（名古屋大学・名城大学名誉教授）とが中心になって進められた国際高等研究所での共同研究計画の中で、非平衡統計力学、相対エントロピーを巡って種々の有益な議論、ご教示を頂いた楽しい思い出が、ありありと蘇って来ます。とりわけ忘れられないのは、2003 年 11 月、高等研での **workshop** の折、夕食後の議論の中で、「量子古典対応」から「帰納と演繹の往復の重要性」に話が及んだ折、「私もそういう方向で講義を組み立てています」と述懐された田崎さんの一言です。早稲田に移られた就任あいさつの中で既に田崎さんは、「普遍性でなく個別性に重点を置いた研究・教育活動を進めていくつもりです」と明言しておられたのでした。

3 月の東日本大震災を境に多少とも我々の人生観、価値観が更新されるかとの期待も空しく、相も変わらぬ効率主義、競争主義の縛りから抜け出られない我々の研究生活の中であって、その只中で人間らしさを貫き、それと調和する研究の醍醐味を味わえたとすれば、本当に研究者冥利に尽きると言わねばなりません。田崎秀一さんとのお付き合いには、そういう要素を実感させる **core** が常に光っていたのです。

My Recollection of Shuichi

Izumi Ojima (RIMS, Kyoto University)

Professor Shuichi Tasaki was one of the best students supervised by Prof. Toshihiko Tsuneto, and he started his research on the problem of irreversibility in the period of 1989-93 under Prof. Prigogine at Solvay Institute in Brussels. Going back to Japan, he spent about two years at the Institute for Fundamental Chemistry in Shimo-gamo, Kyoto, before his moves to Nara and to Waseda. It was in this Institute where I met him for the first time, on the occasion of a workshop on non-equilibrium statistical physics held in 1995. Since then, I have been impressed by his extreme decency and sincerity in his personality, which have shown a miraculous harmony with the sharp clarity in his scientific remarks. I earnestly hope what I will tell you about my pleasant memories about Shuichi will resonate with yours about him.

Before entering, however, I should be honest in recalling the presence of certain subtle aspects in my friendship with him at the beginning stage: because of my commitment in the problems of non-equilibrium systems involving dissipativity and irreversibility, I should have shared many topics of common interest with him, which should have facilitated our communications. Unfortunately, however, I was reluctant to take advantage of it because of my ambivalent feeling toward Prigogine, which caused me waste of certain time before my establishing frank friendship with Shuichi. Actually, in the beginning half of '80's, I was really unhappy about the schizophrenic situations about the treatments of conserved dynamical systems with unitary time evolutions taken as gospel and of dissipative systems violating those, because of which I was strongly attracted by Prigogine's great idea of "dissipative structures" to advocate the formation of order structures through dissipative processes. When I became serious about the mathematical implementation of this idea, however, I was soon frustrated by the difficulties, which trapped me in a kind of "double bind" relation with Prigogine's approach. In measuring the distance with Shuichi, I was too much affected by this kind of ambivalence.

Fortunately enough, I realized that this kind of reluctance was based upon my superficial misunderstanding!: when I read Shuichi's excellent introductory book, "Time's Arrow from the viewpoint of Chaos" (Kodan-Sha, Blue Backs, 2000), I realized immediately how deeply and sincerely he thought about the subtle question about "microscopic reversibility vs. macroscopic irreversibility", which struck me very much. Please allow me to take some time for conveying my excitement about his enlightening remarks in the above book: after explaining the reality of microscopic reversibility in Chapter 2 "Experiments of Time Reversal: Spin Echos", which itself is worthwhile to elaborate on, he starts to examine two different interpretations of Gibbs ensembles in Chapter 3 "Gibbs' viewpoint: Idea of statistical ensembles":

“There are two different interpretations of Gibbs ensembles.

In the first one, the microscopic states of a physical object at an instance are considered to be *definite*, according to the analogy from daily-life experiences. In this case, what can be observed by us is *assumed* to be only the long-time averages of the motions of microscopic objects such as atoms and/or molecules, instead of their microscopic states at each instant. Along this line, the validity of the Gibbs ensembles is restricted only to the situations of thermal equilibria showing no macroscopic changes, according to which Gibbs ensembles are not more than the computational means. ...

In the second interpretation, the microscopic states of a physical object at an instance are not determinate as is the case in Gibbs ensembles. If we adopt this viewpoint, it becomes unnecessary for us to examine the conditions for Gibbs ensembles to be meaningful. The notion of Gibbs ensembles can be applied even to non-equilibrium states at the macroscopic levels. Who advocated this viewpoint for the first time was Gibbs himself. Moreover, he pointed out that once this interpretation is adopted, it becomes possible to explain that any states tends to thermal equilibria in the time course. I find in this idea due to Gibbs the crucial key for solving the problem of irreversibility.” (pp.119-121)

As you see, this is really a profound remark about the mutual relations between microscopic and macroscopic states, after which he starts to examine the question how these mutual relations will be evolved through dynamical processes in Chapter 4 “Chaos”:

“In the previous chapter, Chapter 3, we saw that if a microscopic state of a physical object is definite to be expressed by a point in the phase space of 6×10^{23} dimensions, the microscopic reversibility of molecular motions and the irreversibility of macroscopic phenomena cannot be consistent. This is because the state changes of physical objects can be reduced to the motions of one molecule.

On the other hand, the behaviors of atoms and/or molecules at thermal equilibria show that to each macroscopic thermal equilibrium correspond many microscopic states, to each of which a definite probability is assigned for its realization. This kind of macroscopic states can be expressed by Gibbs ensembles as “clouds” distributed over the phase space. As explained previously, Gibbs thought that any macroscopic states other than thermal equilibria can be represented by Gibbs ensembles.

In a Gibbs ensemble, the mutual relations among many points constituting it vary in time. While the place for “time’s arrow” can be carved is just at the level of Gibbs ensembles, the notion of Gibbs ensemble is not sufficient to implement it, because not all the states expressed by Gibbs ensembles are guaranteed to show the tendency toward thermal equilibria. To materialize this tendency, the microscopic motions of atoms and/or molecules need to satisfy certain characterization, among which we find the property of chaos.” (pp.124 – 125)

I find a sharp contrast at this point about the analyses of dynamical behaviors under the same “baker’s transformation”, one without clarifying the meaning of states stressing the time operator formally manipulated and the other with it.

In the meantime, Shuichi collaborated with Prof. L. Accardi, one of the pioneers of quantum stochastic processes, in preparing the Japan-Italy Joint Workshop on Fundamental Problems in Quantum Physics held at Waseda University in September, 2001. He was kind enough to invite me to it where I was allowed to present my joint work with Profs. Buchholz & Roos on the general formulation of local thermal states in relativistic quantum field theory. Moreover, what was really unexpected to me was that Shuichi advocated in his talk my previous work on entropy production and non-equilibrium stationarity in collaboration with Profs. H. Hasegawa and M. Ichiyanagi during ‘80’s. After this, he offered to me a very open and kind friendship, which melted away completely the useless “wall” between us by his initiative.

As is well known among many experts, he started to adopt the C^* -algebraic formulation successfully for the purpose of physical descriptions of such actual non-equilibrium phenomena as quantum dots. Without his deep analysis of the notion of Gibbs ensembles discussed above, this kind of successful applications would not be possible, I believe. At the same time, his way of noble behaviors and thinking explained above verifies fully what I mentioned at the beginning by the words, “his extreme decency and sincerity in his personality, which have shown a miraculous harmony with the sharp clarity in his scientific remarks”: he was able to concentrate on just most important issues such as what the truth in nature is and whether we can understand each other at the deepest level of human beings, disregarding all unimportant points. Once we succeed in finding the answer to these essential questions, all what we need is simply to follow the way indicated by the answer. As far as my memory is concerned, this kind of principle seems to characterize nicely his noble personality and his vivid way of pursuing research targets, and it seemed to have turned out to be very fruitful (only with one exception of his untimely death which no one can control).

Among memorable events in my friendship with him, I recall the occasion in March 2005 when Shuichi invited Prof. Obata and myself to his laboratory for tutorial seminars on mathematics of quantum systems. We also enjoyed nice opportunities to discuss many important issues on non-equilibrium statistical mechanics and relative entropy, offered by joint projects at IAS (= International Institute for Advanced Study) in Nara which were organized by the famous experts, Prof. M. Ohya (Tokyo University of Sciences) in quantum information theory and Prof. T. Hida (Professor Emeritus of Nagoya and Meijo Universities) in white noise analysis, respectively. What is most unfadable to me was our conversation at IAS in November 2003 after a dinner: when I mentioned the importance of bi-directional thoughts between inductive and deductive arguments in relation with quantum-classical correspondence, Shuichi replied to me by saying that he had tried to implement such a way of thinking,

especially in relation with giving his lectures to students. Since I did not expect that the above opinion of mine could be easily accepted, I was really surprised, but, I soon realized that he already declared officially his principle in his inaugural speech on the web in the home page of Waseda University, in such a form as emphasizing the importance of the individual aspects superior to the universal ones.

As indicated by the disasters caused by the power plants in Fukushima in March 2011, it seems that we are in the midst of drastic historical changes from the power-dominant technological civilizations into some higher cultural levels for the real wisdom to be effective(; while the reality of the latter is difficult to believe in, it would be impossible for the present stages to continue without it). I personally think that the styles of our professional and personal lives are to be changed radically so as for the existence of our human beings to become harmonious with nature, and, from this viewpoint, we cannot over-estimate the value of such experiences that we can appreciate the pleasures of exciting moments in our research activities in harmony with those in our lives as human beings. I am sure that Shuichi's noble decency has always given me important hints in this direction.