



## 2. プリンシプル

### 2. Principle

伊藤 公孝<sup>1-4)</sup>

ITOH Kimitaka<sup>1-4)</sup>

<sup>1)</sup>中部大学先端研究センター, <sup>2)</sup>中部大学ミュオン理工学研究センター,

<sup>3)</sup>九州大学極限プラズマ研究連携センター, <sup>4)</sup>自然科学研究機構核融合科学研究所

(原稿受付: 2020年11月22日)

読者の皆さんが今後研究者の道に進むにしろもっと広い世界で活躍するにしろ, 自分のスタイル・自分の生き方を身につけて貫くことは, 身につけることを求められるたくさんの「生きるすべ」の要素の中で, とても価値あることだと思います。役に立つとは断言しませんが価値があります。皆が同感するかどうかは別にして, そんな立場からのメッセージです。お代は見てのお帰りの気持ちでお読みください。

#### Keywords:

principle, selection of problems, mentor and friend

#### 2.1 プリンシプル

スタンダールの作品を昔から好んで読んだ。この作家の名作は, 最後の跋語に"to the happy few"と書いて閉じられる。生きた・書いた・恋した, と墓碑に刻んだこの人物が人生の大きなものをかけて書いたものが, ごく少数の人がわかってくればいいのだというプリンシプルに貫かれていることに強い印象を受けた。歴史を見ると, 信念をあからさまにいう人や内に秘める人など様々であるものの, 人の心を打つ生き方には, プリンシプルを持った生き方があると思うようになった。

#### 2.2 私のプリンシプルとの出会い

物理学者になりたくて大学に入って師・友・伴侶(早苗)と出会い, 私の学生生活はそこから始まっている。大学に入って考えたことは

- 専門を選ぶ(もう, 物理学の最前線全部を一人の碩学—ランダウ・ファインマン・高橋秀俊……—が描けるような時代は過ぎていた)

- 自分のプリンシプルを作る

ことであった。

専門については, 「縁」という他ない経緯でプラズマ物理や関係する問題になった。

そこで, 自分のプリンシプルはどうするか。何年かかけて, 二つのプリンシプルを選ぶことになった。行きがかりといえは行きがかり, 不可避といえは不可避と言える。

##### 2.2.1 プリンシプル①へ

- ①「自分は実験家のデータを見て新しい理論を作る研究者になりたい。」

もともと, ずっと物理の実験は好きだった。それで, 大

学の卒業研究も実験を選んで, 相棒と一緒に装置を組み立てさせてもらい実験して学位をもらった。長いガラス管をもらってきて片棒を担いで相棒と一緒に慎重に実験室に運び込む役には立った。実験装置を組み上げて(二つの鏡の光軸揃えてレーザー発振させる)二人で工夫をいろいろしたが装置は働かない。気分転換に, 伊豆半島の戸田海岸に行って物理学科の同級生たちと「戸田ゼミ」を開くことにしてゼミを満喫した。東京に帰ると, なぜか実験装置は動いていて実験はうまく進んでいた。(大変残念ながら)それまで私がしていたことは相棒の足を引っ張っていただけだということ露骨に思い知らされた。

人間には向き不向きがある。が, 実験との付き合いは思い切れない。それなら自分は実験家のデータを見て新しい理論を作る研究者になればいい, というのがとても良い思いつきに思われ, それで行こうと決めた。私のプリンシプル①である。

もちろんそれは甘い考えである。ある時, 大河千弘先生に「君はどうしたいんだ」と尋ねられた折に「自分は実験家のデータを見て新しい理論を作る研究者になりたい」とお答えした次第。大河先生は「それは誰もが夢見るけれども, 実に困難な厳しい道なのだ」と(ご自身が成し遂げられた経験を踏まえ)諭されたのをハッキリ覚えている。その時「やめろ」とは言われなかったんだからこれでいこうと決めた[1]。

##### 2.2.2 プリンシプル②へ

もう一つは

- ②「人の仕事のいいところが見えるような眼力を養おう」

というものである(読者諸君, 「日頃あんな厳しいことを言う伊藤が何を言うか」と原稿を投げ出さないでくださ

author's e-mail: itoh@isc.chubu.ac.jp

い、本当だと言う証人もいるのですから)。

こちらは、吉川庄一先生の言葉に誘発されたもの。ある日、庄一先生が「他人の仕事の間違いを見つけて批判するのは、批判された仕事をするよりずっと楽なんですよ。」と言われたことがある。毀誉褒貶にさらされた庄一先生らしい言葉に深く納得して、それでは僕は人のいいところを見る眼力を磨こうと腹に決めた。

こういう経緯から、二つのプリンシプルを持って、大学院を卒業し、世の荒波に踏み出した。

### 2.2.3 さらにプリンシプルとの出会い

人生の伴侶となった故伊藤早苗のプリンシプルはもっとハッキリしていた。二つを再録する。

③「どうなるか、ではなく、どうするか。」

④「解ける問題ではなく、解かなければいけない問題にチャレンジする。」

この二つで一生涯を貫いた。こっちもこっちで、夢見るかもしれないけれども困難な道である。①・②より③・④は、一層 high-risk/high-return 路線である。

H-mode 分岐理論が初めてできたのはこのプリンシプル③・④の賜物である。早苗は Wagner 先生からガルヒンに3ヶ月来ないかと招聘された。研究所に到着して Wagner のオフィスについて挨拶するや開口一番、早苗は「H-mode の理論を作る」と公言して、招聘した Wagner も一緒に着いた私[2]もとても驚いた。

理論ができてしまったのはもっと驚きだが、それについては、私のプリンシプル②も生きている。Weihestephan の庭のベンチで早苗が「径電場があってそれが分岐するのが L-H 遷移」と言った時に「それはいける」とすぐに言ったこと(そして地面に式と図と一緒に書いたこと)が私の功績である。庄一先生のテーゼ「他人の仕事の間違いを見つけて批判するのは、批判された仕事をするよりずっと楽」の予言通り、その理論モデルが発表されたのち、褒めたのは殆ど私一人(それに論文を通してくれたレフェリー)、素直に「正しいかどうかよくわからない」と言ってくれた方が少数、(嘲笑から論理的風なものまで含め)多数の人が批判した。当時の対応の記録がある(諸氏の名誉のために特に秘す)。結局、居田克巳さん(NIFS)、三浦幸俊さん(原研)たちが JFT-2M トカマクのプラズマで強い電場が生まれることを実験的に発見してくれて、嘲笑は終了。

## 2.3 応用

話は前後するが、①のような考えを持って生きようとする、自分が考えることが実際に観測できるかということが問題になる。最初、ドリフト波やそれにまつわる輸送などを手掛かりに研究を始めたが、その当時、実験観測はまだまだ手の届かないところにあった。そのため、波とプラズマの応答を定量的に考える為には、人為的に制御された波を対象にせねばと思い、その勉強のため、波動加熱の専門家福山淳さん(当時岡山大学)に入門して一緒に仕事を始めた。福山さんは、非線形波動やカオスの発生などを

テーマにエレガントな理論を作り際立っていた。波動加熱の話の皮切りに、プリンシプル④の解かなければいけない問題に取り組もうという意図から様々なテーマに3人で邁進した[3]。仲間も少しづつ増えていった。

### 2.3.1 核融合科学研究所にて

核融合科学研究所が発足してそこに加わった時、旧名古屋大学プラズマ研究所の建物に移った。当時、理論家は本館の4階に居たが、私は実験家が溜まっている新館の5階に部屋をもらった。例のプリンシプル①で行くためである。

そのフロアに腰を据えた功德は色々あった。目論見通りになって良かったこととして、藤澤彰英さんがそのフロアに居たことを例として挙げさせていただこう。私の部屋とエレベーターを行き来する途中に藤澤さんのオフィスがあって、彼がよく実験結果を見ている。HIBP(重イオンビームプローブ)を使ってCHS装置のポテンシャルを精密計測していた藤澤さんのデータには、世界初公開のものがあって exciting だった。ある時、一枚のグラフを見て首を傾げている。「急にポテンシャルが増えて短時間で元に戻るんですよ。」と言う。パッと見て、これはいけるよ、ヘリカル系の電場が分岐することを実証した発見だから速くPRLの論文にしよう、と声をかけた。それはそれで上手くいって、その後の機会に部屋を覗くと、別のグラフを見ながらニコニコしている。データを見ると、例のポテンシャルの急増・急降下のペアが、次々に継続して捉えられている。本人曰く「この間是一つしか見えず、自信はあったけれど、これだけたくさん出れば間違いではなかったと安心した」と喜んでいる。パッと見て、話が違うよ、遷移が自律振動として自己形成されると言う、別の新しい大きな発見だから、速く論文書かなきゃ、と激励した。皆が「ヘリカル系プラズマは定常だから」とぼんやり考えていた思い込みに対し、大域的で大規模な自律的動的変動があることを実証した重要な成果だと思う(今や藤澤さんはプラズマ実験学の世界的権威ですが、駆け出し時代のエピソードです。この成果を喧伝したおかげでHIBPをもう一台設置してもらえたのだから昔話を紹介しても勘弁してください[4,5])。

そもそも核融合科学研究所に加わったのは、大学の大型計画LHDの選択の結果と言える。1980年代を迎え、多角化した核融合研究の次にステップをどうするか、文部省の学術審議会・核融合部会(部会長早川幸男先生)は、「学術審議会特定領域推進分科会核融合部会第2次作業会」(主査 宅間宏先生、1984年12月から1985年5月)を発足させ、科学的アセスメントを求めた。私は当時原研にいたが、求められて作業会に参加した。作業会の委員には亡くなられた方も引退した方も多し。最も若い委員(32歳)だったので、若い読者の皆さんにお伝えする責務もあろう。自問したことは、10年先には3大トカマクの成果が出ているだろう。その中で、世界最先端の学術的研究を行うためには、研究目的はどうあるべきか?それはどのようにアプローチ出来るか?私は、外部導体系をえらび「トラスプラズマの総合的理解」が旗印だと考え、説明した。Minority opin-

ionであることは自覚していたが自分のプリンシプル②からそう考えた。

この考え方を受け入れていただき、作業会の結論は「次期大型装置としてHS系を選び、トカマクを含む環状系の諸問題を解決するための研究を行う。外部導体系の持つ炉工学的な長所を利用して定常運転炉を実現する可能性を探ることも、重要な研究課題となることは言うまでもない」[6]となった(HSはhelical systemの略)。

なお、決まってみれば、ヘリカル炉開発だという人たちの声が大きかった。「トラスプラズマの総合的理解」は、minority opinionであることの自覚を30年心に抱いたが、そのビジョンはそんなに間違っていなかったと思う。私のプリンシプル①の流儀で仕事を行い、実験家諸氏の力もあって、世界的な学術的発見(CHS/LHD)をもたらすことができたと思う。例えば、順不同で行くが、帯状流・帯状磁場の発見(Fujisawa)、輸送ヒステリシスの発見(Inagaki)、Tongueの突発による崩壊トリガーの発見(Ida)、非線形結合によるGAMの突発現象の発見(Ido)、電場勾配による乱流抑制の実証(Fujisawa)、電場曲率による乱流変化の実証(Tokuzawa)、内部輸送障壁の発見(Fujisawa)、電場パルセーションの発見(Fujisawa)、不純物ホール発見(Ida)、磁気面破壊と運動量輸送増大の発見(Ida)、…等々。トカマクにもたくさん波及効果が生まれた。(リストに挙げきれなかった実験家の皆さんすみませんお許しを。)パラダイムシフトに結びつく発見や、ITERの動向に迄インパクトを実証し(「ITERは $Q=5$ に達しない」・「帯状流があれば大丈夫」、といった論争が20世紀末に起こったが、帯状流はここに述べたように日本で実験的に発見された)、世界最先端の学術的研究実績を挙げたことができたと思う。

今や、日本学術会議で「マスタープラン」を作成し(学術会議会員の早苗が尽力した)、文部科学省の大型プロジェクト作業部会が「ロードマップ」を作って(こちらは飯吉厚夫先生の先導)、大型学術研究を推進する体系ができあがって10年近く機能している。こうした今日、1985年当時の「トラスプラズマの総合的理解」を凌駕する、学問的に包括的であり現代的にチャレンジングな旗印を鮮明にすることは、プラズマ・核融合研究者界にとって一段と重要になっている。プリンシプル②・④は読者のみなさんにとってますます重要になっている。

### 2.3.2 九州大学にて

早苗は縁あって1992年に九州大学応用力学研究所に移った。そこで例のプリンシプル③・④で仕事を進めていって、プラズマ乱流とプラズマ乱流輸送を根本的に考えようと、研究の舵を切った。

「異常輸送」と名前をつけて遣り取りしてわかった気持ちになり、なんぞと言うとKadomtsev formula  $D \sim \gamma_1/k^2$ に準拠すると言うのでは、学問としては進歩がない。(Kadomtsev先生の名誉のために付言すれば、ご本人は、'Mixing length estimate is correct if you know the correct mixing length' といっている。) Correct mixing length をみつけようというのは、プリンシプル④では尤もだけれど、

勝ち目の保証はどこにもない。私たちは、福山さんと矢木雅俊さんと非線形不安定性を重視して、Diamondさんたちとも一緒になって「多スケール乱流理論」という考え方に発展していき、漕ぎ出した航海を難破せず続けてきた。

学生の頃から、多くの人が「プラズマは非線形性の宝庫」といっておられたが、それを実験的に解明した研究は少ない。先に述べたような未熟な状態と比べれば実験観測に進展はあったが、プラズマ乱流の非線形性を直接測ってみようと言うのは、早苗流であり、例のごとくうまくいく保証はどこにもない。まず理論の方法論では、非線形不安定性をくり込む方法を自己流に考えたが、それが乱流物理の体系の中でどう位置付けられるか勉強が必要であり、back to the studentで吉澤徹先生(東大)の押しかけ弟子になってその世界の方々に揉んでいただいた。実験研究も、幸い、伊藤早苗を代表者とする特別推進研究「乱流プラズマの構造形成と選択則の総合的研究」(平成16-20年度)や基盤研究(S)「乱流プラズマの動的応答と動的輸送の統合研究」(平成21-25年度)が予算措置された。九州大学からのサポートもあり、プラズマ乱流研究の世界的拠点ができた。そして、めざす乱流プラズマの中の揺動成分同士の非線形結合強度を実測することに成功した。一言でいえば、大量に時空データを取り、高次統計解析を行いその収束を論じると言う方法論ができた。その道筋では、上に述べた実験家に加え、九大の永島芳彦さん・山田琢磨さんなど手が加わって、年間何百TBのデータを集め(当時CERNのデータが年間何十PBだったから、志としては負けていない)、GAMや帯状流やstreamerやドリフト波の非線形結合を定量的に測ったりして、「プラズマ乱流実験学」の創生に皆で尽力した。研究に次々に加わった学生さんたちもその線で多くの成果を上げてアカデミアの第一線で活躍している。

### 2.4 源流

こんな調子で突っ張って、早苗と象牙の塔に籠って一生やってこられたのは心ある仲間や若い後進がプリンシプルに共感してくれたからだと思う。繰り返しになるが、プリンシプル①で述べたように自分のスタイルを意識する上では大河先生の指南に負うところが多かった。大河先生ご自身、物理学の道に進むきっかけとなった仁科芳雄先生との出会いをお話くださったことがある。戦時中、理研の仁科研究室の宇宙線研究のグループが金沢に疎開してきて、金沢育ちの大河先生は学徒動員でそこに参加なさり、その折のこととして「仁科先生は時折いらっしやると、お茶と菓子を囲んでコペンハーゲン時代の話をしてくれました。理研のサイクロトロンを空襲から守った話も誇らしくお話しされたのを思い出します。」と仰っておられた。その意味で、私たちもコペンハーゲンの精神の系譜に連なっている。

プリンシプル①-④とともに生きたことは楽しい研究生生活に繋がっただけでなく、研究者界にも多くのベネフィットをもたらしたと思う。

## 2.5 これからの私

突然の転変で、生涯の伴侶を亡くし長く暮らした象牙の塔から"new life"に放り出された。戸惑う日々にあって、助けてくれる友に支えられ、そして心に響くプリンシプル「どうなるか、ではなく、どうするか」を考えて new life へ向かいつつある。

智に働けば角が立ち、意地を通せば窮屈で、同調圧力の強い日本にいて、プリンシプルを持って生きるが良いか、それ無しが心地よいか、それは人によるでしょう。

あなたのプリンシプルはなんですか？

**献辞** 本稿を故伊藤早苗に捧げる。

### 参考文献

[1] 実験家の立場になってみれば、自分が手に入れた虎の

子のデータを「見せてくれ」と言われても簡単に見せてくれないほうが自然であろう。そんな当たり前なことも気にならないところが無知の力である。

- [2] 1986年のIAEA京都会議での休憩時間に、Wagnerさんが早苗に来年の夏3ヶ月ガルヒンに来ないか、と招聘下された。早苗は二つ返事で諾と答えた。その休憩時間中に、全く独立に飯吉先生から私に、来年3ヶ月の在外研究員として推薦する可能性がある、と言う話をいただいた。二つ返事で受諾。小説なら「ご都合主義」だと言われる話の運びで、ドイツへの出張が決まった。
- [3] このトリオ研究については、別の機会に譲る。
- [4] その「もう一台」が後日 zonal flow (帯状流) の発見に大活躍する。
- [5] この現象についてはのちに登田慎一郎さん (NIFS) が理論モデルをまとめた。
- [6] 宅間 宏：核融合研究 55, 47 (1986). 当時 (今も) 「『言うまでもない』なら言わないでくれ」と思ったけれど。



いとう きみ たか  
伊藤 公孝

中部大学 総長補佐, 特任教授, 九州大学客員教授, 核融合科学研究所フェロー. 専門はプラズマ物理学など. 昭和27年2月7日生まれ, 昭和54年3月 東京大学大学院理学系研究科物理学専門課程博士課程修了・理学博士. 原研, 京大, 核融合科学研などを経て現職となった歩みの一端は本稿にある通り.