The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	フラストレーションの面白さ
Author(s)	川村, 光
Citation	大阪大学低温センターだより. 2008, 144, p. 1-5
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/5501
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

研究ノート

フラストレーションの面白さ

理学研究科　川村　　光（内線5543）

物性物理学の分野で、近年「**フラストレーション**」という概念が注目されています。「あちらを立てれば、こちらが立たず」という状況の下、「**競合**」が生み出す新現象、新奇物性に注目しようではないか、というわけです[1－6]。昨年度からは、特定領域「**フラストレーションが創る新しい物性**」も走っており（小生が領域代表を努めさせて頂いています[5]）、阪大でもフラストレーション研究が大いに活発化しています。多分それも預かってのこととは思いますが、今回編集部から、フラストレーションの面白さについて何か書いてほしい、という御依頼を受けました。とりあえず喜んでお引き受けしたのですが、実はフラストレーションの紹介文というのは、特定領域の申請書書きを手始めに（２年に渡って落とされましたので、あまり思い出したくはないのですが）、既に何箇所かで書いています[3－6]。今回また同じような文章を書いてもつまらないので、多少なりとも真っ当な文章については以前に書いたものを御参照いただくこととして、今回は他所ではチョッと書きにくいような与太話を書かせていただこうかと思っています。あまりいい加減な事ばかり書くと、編集長の北岡先生に怒られるかしら、、、？

長谷田先生のこと

大分以前のことになりますが、小生、阪大の助手時代に低温センター便りの編集委員の末席に連なっていたことがあります。これは、当時のセンター長でかつ初代のセンター便り編集長であった長谷田泰一郎先生に「編集委員をやれ」と言われ、一も二もなく引き受けさせて頂いたためです。私の記憶が正しければ、当時のメンバーは、小生以外は全員実験家でした。おそらく小生が、低温センター便り史上初の理論屋メンバーだと思います。ただ内実はと言うと、編集委員会をしょっちゅうサボる不良委員でした。というわけで、全然威張れないのですが、ともかく低温センター便りと御縁だけはあります。

長谷田先生は、低温物理の実験家として著名な大家でしたが、低次元磁性、フラストレート磁性についても幾多の先駆的なお仕事をされています。思い出しますが、長谷田先生の阪大退官に際しての記念講演会の席で、これも当時の日本のフラストレート磁性研究の一方の雄であった平川金四郎先生が講演をされました。そこで平川先生が、「これから長谷田先生を誉めます」と宣言して、

まずイの一番に仰った誉め言葉が、「何が良いと言ったって、長谷田先生はその名前が最高です。泰一郎というのは、細かいことにはコセコセしない、体を表す立派な名前です」というものでした。このお言葉はスゴク印象に残っています。あまりにも強い印象を受けたので、その後続けて仰ったはずの肝心の他の誉め言葉の方については、すっかり忘れてしまったのですが、、、

長谷田先生は小柄な体格でいらっしゃいますが、確かに大人の風がありました。会話（お喋り）大好きで、夜中でも電話がかかってきて議論をふっかけられることも度々。で、稀になのですが、時々強烈な名言を吐かれるのです。忘れ得ぬ「長谷田語録」より **2** つほど紹介させてください。

写真：昔々、何処かの温泉で行われた某研究会での集合写真（の一部）。前列中央が長谷田泰一郎先生。ちなみに、その左隣が川崎恭治先生、右隣は松浦基浩先生。他にも、よく目を凝らすと、著名な先生方の若かりし頃のお姿がお楽しみいただけます。

1 つ目は、真の研究というものは、すべからく

“ small and individual ”

だ、というお言葉です。これは退官に際しても仰っておられたので、先生の研究上の信念であったと思います。もちろん、「今時 “ **small and individual** ” なんて言ってた日には干上がっちゃうよ」というのもマア確かに真実ではあるのですが、こちらの方はあまり人を感動させる手の真実ではない。やはり、長谷田流の “ **small and individual** ” には靭い精神が宿っており、そこには物性研究の原点があるように感じます。

2 つ目は、先生が目片守先生と共著で書かれたフラストレーションに関する啓蒙的なテキスト・物理学最前線**26**「 **3** 角格子上の物理」（共立出版）の冒頭に出てくる文句です[7]。当時の日本でのフラストレート磁性研究の主たるターゲットは **3** 角格子系であり（もちろん **3** 角の重要性は今に至るまで不変ですが）、長谷田先生の上記著書も **3** 角格子のフラストレーションを扱ったものでした。それは、こう始まるのです。

3 角形あるいは 3 角格子には、何か哲学的な匂いがする。

イヤー、これには参りました。何だかよく訳は判らないのですが、とにかく強烈な文句です。訳がわからないままに、グッと引き込まれる。

というわけで、今回私が低温センター便りにフラストレーションのことを書く巡り合わせになったからには、何はさておき、まずは長谷田先生のことを書かせていただきたかった。そして章の最後は、やはりエールで締めさせてください。

長谷田泰一郎に栄光あれ！

なぜ「フラストレーション」か？

この章では、一体何が面白くて、あるいは何を求めてフラストレーションの物性物理をやるのか

を、全くの個人的な観点からお話させていただきたいと思います。ただし、真面目な（学問的な）話はいたしませんので、学問的なことは一切期待してはいけません。

私も物理屋の端くれですが、物理屋という人種はとかく、「この世界は、根本的には、単純で普遍的な法則で支配されており、その法則性は物理学によって理解できる」という風に考えたがります。特に我々くらいまでの世代の方々は、湯川・朝永の影響もあって、高校生くらいの時には、万物を根源的な素粒子とその基本法則によって記述しようとする素粒子論に憧れた人が多い（これは、昨今でもそうかもしれません）。しかし大学生くらいになると、それなりに考え方も多様化してきて、「仮に素粒子の基本法則が判ったとしても、この世界の重要なことは、実質ほとんど何も判らないではないか」とか、「基本法則が判ったらこの世界が理解できたなどというのは、物理屋の傲慢以外の何物でもないのではないか」とか、「個別の中にこそ、真実は宿るのではないか」とか、考えるヤツも結構出てくるわけです（実は私もそうでした）。で、大体そういうのが、物性物理に進むわけです（チョッと乱暴な議論ですね）。**P.W. Anderson** ではないが、“ **More is different** ”、即ち、構成要素の基本法則が既知でもそれが多数集まって構成された実在の物質系では新しい現象・新しい法則性が立ち現れるのだ、という考え方です。物性物理学というのは、そういう意味では、やや玄人ぽい「**大人の楽しみ**」なのかもしれません。

しかも現実は、しばしば遥かに複雑・多様です。我々自身にしても、幾多の困難や悩みを抱え、時には矛盾に引き裂かれつつ妥協を重ねながら、日々暮らしているわけです。ところで、大変興味深いことに、“ **困難** ”、“ **矛盾** ”、“ **妥協** ”、、、などというのはすべて、フラストレーション物理のキーワードなのです。何だか、親しみが湧いてきませんか？　フラストレーションの世界は、本質的に**多元的**な世界です。小生には、フラストレーションの物性物理というのが、何かとても親近感の持てる身近なものに感じられます。

ただ、物理屋というのは因果なもので、「個別の中にこそ真実が宿る」とか一方では格好を付けておきながら、他方では「フラストレーションが単にゴチャゴチャした複雑さを生むだけなら面白くない、やはり矛盾と競合の海からこそ現れる新しい現象、あたらしい法則性があるはずだ」と考えるわけです（六つ子の魂百まで、とは良く言ったものだ）。そういう意味では、フラストレーションの物性物理は、より正確には、「**大人になり切れない大人の楽しみ**」なのかもしれません。あるいは、

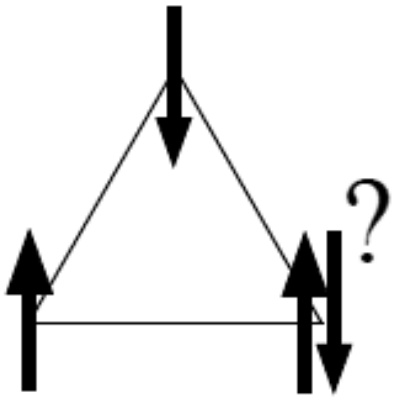
矛盾と競合の中に、物理学は新しい夢を見れるか？

Coming up

フラストレーション研究のベースは、やはり磁性体・スピン系の分野でしょう。図に示したのは、**3** 角形の各頂点に磁気モーメント（スピン）があって、隣り合うスピン間には互いの向きを逆向きにしようとする「反強磁性的な」相互作用が働いているという状況です。仮にスピンは「上向き」か「下向き」かの **2** つの状態のみを取るとすると、**3** 角形上の全てのスピン対を互いに逆向きにすることは絶対に不可能で、どこかでエネルギーが上がってしまいます。「**あちらを立てればこちらが立たず**」というわけ。これがフラストレーションで、スピンは安定な配置を取りにくくなります。

揺らぎの効果が増大して、スピンの秩序化は妨げられる訳です。

他方、自然界には**熱力学第 3 法則**という代物があって、それによると、十分低温では物質はある安定な状態に落ち着いてそのエントロピーをゼロにしないといけません。しかし先の **3** 角形の例でも一目瞭然のように、フラストレーションは、そう簡単には安住の地を与えてはくれません。フラストレーションと第 **3** 法則の狭間で困りはてた物質は、一体どうするのでしょう？「色々なことを、そしてしばしば大変面白いことをします」というのが、その答えです。



図：**3** 角形上で反強磁性結合した
3 個のイジングスピン

例えば、フラストレーションのため普通の秩序状態をとれずに揺らいだまま低温に突入した磁性体においては、新しいタイプの量子状態「**量子スピン液体**」が実現するのではないかと期待されています。拙文の後の中澤先生の記事は、その実現例になっているのではと期待されている有機物質についての話題です。

あるいは、フラストレート系が低温で何らかの秩序を形成する場合であっても、そこで実現する秩序は通常とは随分異なった風変わりなものになり得ます。例えば、**カイラリティ秩序や新奇なボルテックス秩序**といった可能性が議論されており、萩原先生の記事は、そのようなカテゴリーに属すると思われる二次元 **3** 角格子磁性体の話題です。

フラストレート磁性体がそのフラストレーションを解消する **1** つの有力な方法は、物質中のスピン以外の他の自由度、例えば**格子・軌道・電荷**といった自由度とカップルすることです。この場合、フラストレーションが、普段は無関係な自由度同士をカップルさせることになります。「困ったときこそお互いに助け合いましょう」というわけですね。特に、フラストレートスピン系が誘電自由度とカップルした磁気強誘電系は、所謂“ **マルチフェロイックス** ”物質として、目下大きな注目を集めています。磁気を電場で（磁場ではなく）制御できたりするので、応用上も重要です。マルチフェロイックス系については、木村先生の記事をご覧ください。

さらには、スピンとまったく無関係な誘電体においても、フラストレーションがしばしば重要な役割を果たしていることも判ってきました。そのような例として最近注目されているのが、「**リラクサー**」と呼ばれる誘電体です。幅広い周波数域・温度域で数万にもおよぶ巨大誘電率を示すので、実用上も極めて重要な物質です。リラクサーについては、廣田先生の記事があります。

というわけで、阪大のフラストレーション研究は、実に多士済々です。川村が与太話で紙面を空費しても、全然ビクともしません。頼もしい限りです。

最後に。　新しい時代は、いつも、巨大な困難とそしてそれを何とか乗り越えようとする苦闘の中から生まれてきました。フラストレーションは、これから必ずしや新しい物性、新しい物理を創り出していくに違いありません。

文献

［1］**Proceedings of the Highly Frustrated Magnetism（HFM）Conferences; HFM2006, J. Phys. Condens. Matter,** 19, **No14（2007); HFM2003, *ibid.***16, **No11（2004); HFM2000, Can. J. Phys.** 79, **No.11/12（2001）.**

［2］物性研短期研究会報告「フラストレーションが創る新しい物性」、物性研だより、**43**巻 **4** 号、**2004**年、ｐ**27**；物性研短期研究会報告「フラストレーション系の磁性と新しい物性」、物性研だより、**42**巻 **3** 号、**2002**年、ｐ**1**

［3］「矛盾が引き起こすエキゾチックな現象：幾何学的フラストレーション」**R.** メスナー、**A.P.**ラミレス、川村光訳**,** パリティ（丸善）**21**巻 **9** 号（**2006**）**p.20-29.**

［4］「フラストレート系の新物性」川村光**,** パリティ（丸善）**22**巻 **1** 号（**2006**）**p.25-28.**

［5］文部科学省・科学研究補助金・特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」ホームページ（**http://www.frustration.jp**）

［6］特定領域研究「フラストレーションが創る新しい物性」、川村光、「異常量子物質」特定領域ニュースレター **vol.15**（**2007**）、上記ホームページからも見れます

［7］「三角格子上の物理」長谷田泰一郎・目片守、物理学最前線**26**（共立出版、**1990**）