

物性物理学の将来計画は何か

— レオロジーの分野への提言 —

東大工 池田 恵

(5月29日受理)

§ 1. はしがき

筆者は、既に基本的な考え方をのべたところでもわかるとおおり、¹⁾ 未だ確立された方法論を持つ者ではなく、模索中の段階であり、とても物性物理学全般にわたっての洞察は遠く及ばないところであり、以下はただ単に、レオロジーを垣間見た感じ方からの提言であるにすぎない。が、しかし、物性というものの考え方や扱い方に一つの統一的な洞察を示すことになるので、何らかの意味で、物性物理学の将来計画というような大きな問題に関連することにもなると思う。そこで、この論文では、レオロジーに於ける筆者自身の問題のとらえ方と、これから先、どういう事を考えていくべきなのかという一つの将来計画を自分なりにまとめておこうと思う。

§ 2. 統一的立場の必要性

既に前論文¹⁾で、筆者自身のレオロジーの考え方として、「レオロジーの幾何学的研究」という把握の仕方をのべてきた。そこでは、物質の構造・運動形態の無限階層性に合致する方法論の必要性という観点から、レオノーム幾何学を中心とする微分幾何学的洞察が、とりもなおさず、統一的立場になることが主張された。素粒子論の分野では、武谷三男、坂田昌一といった方々が唯物弁証法をふまえた研究をおしすすめることの重要性を主張してこられ、強力な back-bone となっていることは周知のとおりであるが、²⁾ 物性物理学の分野では、そのことが余り主張されていないようである。現代物理学では、素粒子物理学と物性物理学が互いに二大分野として認められ、前者は微視的な方向へと、素粒子の構造・運動形態を追求していくのに対し、後者はより巨視的な段階での物質の構造・運動形態を追求していくという形で考えられている。通常の研究者の頭の中では、自分のやっている研究内容をひきくらべてみて、その

池田 恵

両者の間に、一応の段落をつけようとするのが、これ又、常である。しかし、もともと二分野とはいえ明らかに連続的なものであり、どこまでの段階が効果を及ぼすかを考える際に、より微視的なものを打ち切って省略する平均操作が何らかの形で行なわれているわけで、方法論的には当然、連続しているのである。だからこそ、物性物理学を唯物弁証法的に洞察しなければならないし、そのための強力な方法論が必要なのである。筆者が「幾何学的方法論」を考えるに至ったのも、実に、そういう必要から生まれきたところであり、一般的変形論の立場からの洞察を、従来の統計力学的方法と比較検討しながら、そして、特徴をうちだすことに留意して、物性を研究するという方針を打ち出したわけである。¹⁾

§ 3. レオロジーの現状分析

世に流布している「レオロジー」と名のつく書物を、特に日本人の著者のものを読んだ結果、感じたことを書こうと思う。

その内容は、考え方としての線型粘弾性論と非線型粘弾性論との分類、物質としての高分子物質とその他の物質という分類が存在するようである。線型粘弾性論では、力学模型の線型組合わせの理論、スペクトル解析などが主流を占め、非線型粘弾性論では、応力-変形-時間関係の非線型性を物理的条件で線型化する方策が練られている。高分子物質では、大体分子論的レオロジーという形で論じられ、大別して孤立鎖及び網目構造の粘弾性とスペクトル解析とが主流であり、その他の物質は、最近は余り特徴的に取上げられるものがなく、それらの書物では一応モデル的にのべられているが、詳しく扱われていないようである。

大体以上の様に、通常の本物の内容はまとめられると思う。

§ 4. 残された問題

どの書物をも、結局、非線型性の複雑さを強調して詳しくのべることをさけるか、物理的平均化を試みて、その物理的条件を吟味している程度で、本質的非線型を保存した形での議論は余り行なわれていないようである。そこで、非線型変形論、非線型粘弾性論の徹底的研究が、まず、残された問題の一つと

してあげられる。これに対して、筆者の非ホロノーム変形論というのは有効であると信ずる。実験との比較という点で平均化され、ホロノームになってしまうことにならざるを得ないが、その辺の問題も残されたものの一つである。

次に、レオロジーというと高分子レオロジーと決めてかかる人がいるくらい、扱う物質の大部分は高分子物質である。そして他の物質は、いわば工業的な立場での研究、例えば企業とか、工学部の特定の学科とかで扱われていて、主流ではないことは確かである。その当りにも一つの段落があるようである。つまり、正統派の人たちは高分子物性をやり、一寸はずれたところにいる人たちは、その他の興味ある物質を扱っているということに分けられているような感じがする。そこで問題としては、高分子物質以外の物質を扱うこととしてあげておいてもよいであろう。液体とも固体とも判別しにくいという点から筆者が興味を感じているのは、液晶問題などである。

それから、スペクトル解析が大巾に採用されていて、WLFの式をはじめとする諸研究が試みられているわけであるが、それ一点ばかりでいいのかを問う必要がある。特に、時間依存性の現象の複雑性はいちがいに把握されうるものではないだろうし、時間というパラメータが本質的なことは確かだが、現象面に現われてくる段階では平均化されてしまっているわけで、その辺のからくりを explicit に究明する必要があるのではなからうか。それと最後にもう一つ。それは統計力学的方法をのべてある書物では、必ず、粘弾性機構が不可逆過程であることをのべ、そしてそれを扱うための不可逆過程統計力学が未完成であるために、例えば、摂動理論などに頼るという主旨の断わり書きが常に見受けられる。従って、非線型粘弾性論と相俟って、不可逆過程統計力学の確立も残された問題になってくる。この方面は、筆者は未だ不勉強で、筆者自身の方法論とどう結びついてくるのか判然としないが、本質的に時間依存性である系の変形論から出発しているわけだから、分布函数の段階では直接的に結びついて来ないかもしれぬが、物質係数、応力-変形-時間関係の段階では、結びついてくると考えられるから、その当りの解析が重要だと思っている。

M. Reiner らの書物⁴⁾をみてもわかるとおり、もともとレオロジーという学問が、Hooke 弾性、Newton 粘性、St. Venant 塑性からのずれを示す物質の力学的性質に着目して成立してきたものであり、それをより微視的に、

池田 恵

特に高分子物質が興味を中心を占めるに至ってからは、液体論、溶液論⁵⁾と相俟って、統計力学的方法が主流を占めてきているわけである。その力学的性質を研究するにしても、統計力学的方法でも、もちろん、欠点があり、又、同様に筆者の様な考え方にも限界があることは確かである。筆者が今感じている点は、次のことである。

即ち、統計力学的方法での平均操作についてであり、その方法では、物質を構成する粒子(分子)がすべて均一な同種類のものとみなし、特徴は、その間の作用力の大きさとか粒子の大きさとかに代表されているようである。そこでは、一つの物理的特徴をもつ実体とそのレベルそのままに保存された形の平均操作ではなく、バラバラに分解された上での平均操作である。だから、粒子の配置の仕方なぞが、そして、その仕方の数の勘定が問題となるわけであるが、一つの物理的単位としての実体は、その単位にまとまっているからこそ意味があるので、バラバラにしては元も子もなくなるではないか、我々の場合、実体は一つの単位としてまとまって把握されるから、その点は有利である。

以上、思いつくままに列記してきたが、これらを考慮に入れて、次に、より大きなレベルでのレオロジーの今後の問題を考えてみたい。

§ 5. レオロジーの将来計画

大きな分野として、前節にのべたものの中からは、非線型粘弾性論と不可逆過程統計力学の確立、そして、高分子物質もさることながら、他の物質も研究するという三点があげられる。

レオロジーが登場して以来、分子論的レオロジーとして、高分子物性が close-up されてきているのが現段階であるが、それをより根源的に考えてみるならば、液体論、溶液論をつつくべき問題ともいえる。その段階では、粘性を中心とした輸送現象理論という形でまとめられている傾向にある。しかし、粘弾性などを扱う際は、不可逆過程輸送現象として、何とか線型化しようとするから、非常に複雑な議論になる。その点の改良も含め、かつ、輸送現象論で扱い得る範囲を、レオロジーの中に広める努力をすべきである。それは、とりもなおさず、不可逆過程統計力学の問題と結びついてくるわけである。

液体とも固体とも判別しにくい物性を追求するという意味では、相転移など

の臨界現象をつついて然るべきだが、それも従来の化学物理的 approach をより巾広くに確立させながら挑む必要があるだろう。そもそも相転移の基準は何なのかといった大局的な問題を考えていくべきであろう。

それから最後に、やはり力学的性質の特徴をいかに把握するかという点への、強力な approach の必要を感ずる。弾性、粘性、塑性の複雑な組み合わせといっても、どんな基準があるのか判然としないし、組み合わせ方を力学モデル的に考察するだけでは、物性論的立場からは、おそまつすぎるのではないか、そんな気がする。

今までのべてきたことは、大体、普通考えられるところとは思いますが、多くの困難を含む巾広い問題だから、着実に究明していかねばならぬ。簡単にはいかないだろうが、やはり精力的に挑むべきであり、現状に落ち付いてはいけな。これからが問題だという意識と、一寸した偏りをすぐ異端とみなすくせは改めて、頭を柔らかくして研究していかねばならないと思う。

§ 6. あとがき

レオロジーのすみずみまで充分知りつくすことは仲々困難であり、筆者のこれからの問題点と興味ある問題に従って書いたわけであるが、いわんとすることはくみとっていただけたと思う。何しろ「レオロジーの幾何学的研究」をはじめたばかりであり、従ってその立場と有効性、正当性を声を大にして主張するまでには至っていないのが残念であるが、「物性研究」の読者諸氏の御意見、御批判をおおぎつつ、少しずつ試みていきたいと思っている。

§ 7. 参考文献

- 1) 池田 恵, 物性研究, 12 (1969), 117.
- 2) たとえば 武谷三男, 弁証法の諸問題 (著作集1), 勁草書房 (1968).
坂田昌一, 科学に新しい風を, 新日本新書 (1968).
- 3) たとえば 山本三三三, レオロジー, 槇書店 (1964).
小野木重治, レオロジー要論, 槇書店 (1957).
中川鶴太郎, レオロジー, 岩波全書 (1965).
中川鶴太郎, 神戸博太郎, レオロジー, みすず (1959).

池田 恵

4) M. Reiner, Deformation and Flow.

H. K. Lewis & Co. Ltd., London (1949).

5) たとえば 原島 鮮, 液体論. 岩波全書 (1954).

小野 周, 物性物理学講座, 第4巻第5章.

共立出版 (1965).