川崎恭治インタビュー：ボルツマン メダル受賞記念

早川尚男 (インタビュアー：京都大学大学院人間・環境学研究科)

2001 年 2 月 24 日 (土曜) 春日井市高蔵寺にて

1　はじめに

去る 1 月 31 日の新聞紙上で九州大学名誉教授の川崎恭治氏が B. Alder と共に Boltzmann medal を受賞することになった旨が報じられた。Boltzmann medal は統計物理最高の賞として 1975 年に設定されて以来、３年に一回の IUPAP 主催の STATPHYS(統計物理国際会議) で顕賞される賞である。過去の受賞者[1] は

1. Kenneth G. Wilson (1975) : 臨界現象におけるくりこみ群
2. Ryogo Kubo (1977) ： 線形応答理論
3. Rodney J. Baxter (1980) ： ２次元可解模型
4. Michael E. Fisher (1983) ： 臨界現象
5. David Ruelle and Y. Sinai (1986) ：共に数理物理
6. Leo P. Kadanoff (1989) ： 臨界現象におけるスケーリング理論
7. Joel Lebowitz and G. Parisi (1992) ：前者は統計力学全般の幅広い業績、後者はスピングラスや確率過程量子化
8. Sam F. Edwards (1995) ：高分子物理、ランダム系 (含スピングラス)
9. Elliott Lieb and Benjamin Widom (1998)： 前者は数理物理、後者は臨界現象におけるスケーリング理論
10. Berni Alder and Kyozi Kawasaki (2001) ：前者は Alder 転移の発見、後者は動的臨界現象とモード結合理論

という錚々たるメンバーである。こうした名誉ある賞を川崎氏が受賞するのは、同じ統計物理の学徒の喜びであるばかりでなく、個人的な事情を述べさせて頂ければ川崎研で学位を取った門下生の喜びでもある。

[1] 受賞理由は著者が勝手につけた。

今回、物性研究編集委員会において津田編集局支部委員から出された、この機会にインタビューをし、非平衡統計物理の歴史を記録すべきだという意見、が採択されて、編集長の早川がインタビューを行った。

ここで極く簡単に川崎氏の主要な業績について触れよう。まず、気体運動論において輸送係数が密度展開に於いて破綻する事を認識し、密度の対数に依存した異常項があることを示した。この業績は多体系の物理が希薄なものと本質的な違いを持つ事を明かにした点で今日においても教育的価値が高い。ついでいわゆる Kawasaki dynamics を導入した事が挙げられる。Kawasaki dynamics は古典スピンが相互に入れ替わりながら時間発展するものであり、保存則を持った古典スピンのダイナミックスとしては最も簡単なものである。従って今日では Kawasaki dynamics は科学用語として統計物理の業界で定着している。また氏は Kawasaki dynamics の導入により、保存則のあるスピンダイナミックスでは臨界点近傍で輸送係数に異常がない事を証明している。

川崎氏の最も有名な業績は動的臨界現象におけるモード結合理論である。輸送係数は久保公式で計算されるが、そこでのフラックスの相関を具体的に計算する方法は自明ではない。例えば臨界点付近の熱伝導係数であればエントロピー密度と速度場という 2 つのモードの結合が最も重要な寄与を与える。氏はこうしたモード結合の一般論を展開し、輸送係数の臨界異常の説明に成功した。

氏はその他に、森肇氏との共同研究における量子スピン系での輸送係数の微視的計算による非弾性中性子散乱の説明、シアを加えた流体系での臨界点の下降のくりこみ群による計算、相分離における界面ダイナミックス等にも顕著な業績を挙げられ、ここ 10 年程はガラス転移の問題に意欲的に取り組まれている。

川崎氏の略歴はインタビュー本文を見れば明らかであるので、割愛する。インタビューを補う資料として論文リスト等は文献 [1] にあり、氏の研究歴を反映した教科書としては文献 [2] がある。また氏が書かれた自叙伝に近い読み物としては固体物理 [3] がある。[2]

尚、インタビュー中での H はインタビュアーである早川であり、K は川崎恭治氏である。インタビューの際に会話をテープに録音していたが、初めての経験のために録音に失敗していた部分が多々あり、メモと記憶を基にして再現した部分がある。当然、聞き取れない箇所もあって、川崎氏のコメントを後日頂いた。本インタビューではいささかインタビュアーがしゃしゃりでた印象があるが、過度の編集を加えずにインタビューをそのまま収録することを心がけた。またインタビュー後、注釈や文献を付けたが、早川の勘違い等があるかもしれないので、御容赦願いたい。

[2] 氏のこれまでの褒賞は、1972 年の仁科記念賞、1992 年の Humboldt medal, そして 2001 年の東レ科学技術賞がある。また 1976 年に九大教授として赴任して以来の川崎研の関係者は助教授として小林謙二氏 (1977 着任、96 年退職)、助手として小貫明氏 (1977 年着任、1982 年京大助教授として転出。現在京大教授)、太田隆夫氏 (1979 年着任、1987 年お茶の水女子大助教授として転出。現在広島大教授)、関本謙氏 (1985 年着任,1990 年名大助教授として転出。現在京大教授)、川勝年洋氏 (1988 年着任。現在、名大助教授)、渕崎員弘氏 (1991 年着任。現在愛媛大助教授) が居た。また川崎教授指導下での学位取得者は山崎和子 (1981), 今枝辰博 (1985, 現東和大), 榎本美久 (1988, 現名工大)、早川尚男 (1991, 現京大), 古賀毅 (1993, 現京大)、小川淳司 (1994, 現福井大), 中原明生 (1994, 現日大)、奥薗透 (1994, 現広島大)、谷口貴志 (1994, 現名大), 森口一郎 (1995, 現東和大) である。但し川崎氏の退官は 1994 年 3 月だったため、森口氏の博士論文主査は小田垣教授であった。(礒部雅晴氏による)。

2　九大大学院迄

H まずはボルツマンメダル受賞おめでとうございます。津田編集局支部委員の方から是非この機会に非平衡の歴史等を聞いて欲しいとの要請がありました。先生もこの３月に中部大学を退官されるという事で先生に歴史について伺うにはちょうどいい機会ではないかということでこの企画が採択されました。また編集長の私も川崎門下の末席を汚している事情もありまして、私がインタビューに参りました。いろいろお聞きしたいことはございますが、まずは生い立ちについて伺いたいと思います。確か 1930 年のお生まれだったと思います。御出身はどちらの方でしたか。

K 滋賀です。滋賀の大津です。

H 滋賀ですか。御父様の御職業は？

K 今で言えば地方公務員です。内務省の管轄だったと思います。それであちこち転校しました。

H 先生が科学に興味を持たれたのはどういうきっかけだったのでしょうか？

K 特に科学に関心はなかったのです。興味を持ったのは、陸軍幼年学校を出た後の戦後の話です。

H では幼年学校に御入学されたのは？

K 昭和 19 年です。

H ではもう戦争末期ですね。大槻昭一郎さん[3] も同期と伺いました。昭和 19 年とすると 14 歳位ですね。そうすると中学の途中という事になりませんか？

K 旧制中学の１年の時に受験して幼年学校に入りました。

H そういうのが普通なのですか。

K 普通なんですよ。

H そうなんですか。中学はどこだったのですか。

K 静岡中学です。

H ずっと九州だと思っていました。本当にいろいろ移られたのですね。

K あっちこっち渡り歩いたのですよ。まず大津から福岡県の直方に移って、そこで小学校に入りました。それで半年だったかな。それで鹿児島に行きました。鹿児島で小学校４年までいてから、静岡に引っ越して、付属小学校から静岡中学に入ったのですよ。

[3] 素粒子論。九大名誉教授

H それで中学に入られたのですが、幼年学校には志願された形で御入学された訳ですね。そういうのは戦争があるから志願しなくてはという事があったのでしょうか。

K そういう高いレベルの話ではないですよ。

H 普通に考えると静岡中学と言えば名門だからそのまま進学された方が、軍事教練とかあったとしても自由でいいと思うのですが。

K そこまで考えなかったですね。あの頃は戦争があって陸軍幼年学校から生徒が宣伝に来るのですよ。彼等が非常に恰好良かったので引っかかったというのが真相です。

H それは意外ですね。

K いや他愛もない話ですよ。

H 先生にそういう時代があったというのはほほえましいですね。それで幼年学校は静岡にあったのですか。

K 名古屋です。

H そうですか。それで終戦となる訳ですが、その場合、身分はどうなるのですか。

K 旧制中学の相当する学年に編入するのですよ。

H そうするとどこの中学に行かれたのですか。

K 三島の近くの韮山中学です。

H それで先生は旧制と新制の切替えに引っかかって旧制高校への入学がキャンセルされたのですか。

K そうではないです。１年でなくなったのですよ。当時食糧難で親父の郷里の佐賀県に戻ったのですよ。それで鹿島中学に編入して、そこを卒業しました。それで旧制佐賀高校に入学しました。それが１年で閉校になってもう一回受験したんですよ。

H それはひどい話ですね。それは大学を受験したのですか？九大理学部に？

K 最初は教養でした。

H 学部は決まっていなかったのですか？

K そうですね。理系か文系か。理系なら語学の関係で医学系と理工系が分かれていました。

H そうすると新制として大学で４年間を過ごされたのですか？

K そうですね。２年の終りに学科を決めて進学です。

H そのときに物理を選択されたというのは？

K そのときから物理に関心がありました。原子とかミクロな世界に神秘性を感じました。プランクとか名前位は知っていましたから。内容は全然分からなかったですが。

H 大学を卒業して素粒子論に？

K むしろ大学時代は物性の教育を受けていました。素粒子系が欠けていたのです。九大が出来たのが遅くて、創成期には東京から来た先生が多かったのです。ところが戦争で生活が成り立たない、食糧難とかで引き上げられた人が多かったのですよ。元々のスタッフは立派な人が多かったですよ。原島 (鮮) さん[4] とか、(野上彌生子[5] の次男の) 野上茂吉郎さん[6] 武藤俊之助さん[7] とかがいました。ですがそういった事情で私が入学したときにはもういなかったのですよ。

H そうですか？先生が御入学されたときには小野周さん[8] はおられたのですか？

K 小野さんはいましたよ。工学部の応用理学という処にいて基礎教育をなさっていました。

H なるほど。ミクロに憧れがあって素粒子を選んだのですか？

K いやそうではないです。物性の教育が充実していたから物性に興味がありました。小野さんの他、田中友安さん[9] とか、池田和義さん[10] とか中村伝さん[11] とかおられました。素粒子は空白だったので物性をやってもいいなあと思ったのですよ。だけどその頃、新任の素粒子の尾崎正治先生[12] が元気のいい講義をされたことと、親しい友人が小野周さんのおられた応用理学に行くと言っており、2 人も行く訳にはいかないだろうという事で素粒子論を選んだのですよ。

3　渡米：1957-59

H それでどういう契機に物性系に専攻を変更されたのですか？

K ちょっと研究室に問題が生じて分野を変えたのです。他に最近 Oppenheimer の評伝 [4] を書かれた藤永茂さん[13] も先輩として居られ、分野を分子物理に変えています。荒木源太郎さん[14] の処と関係があって、時折集中講義に来られた関係で、彼はそれについて行ったという形になっています。

[4] 故人。統計力学。九大の後、東工大教授、国際基督大教授を歴任。東工大名誉教授。
[5] 小説家 (1885-1985)。夏目漱石の弟子。
[6] 故人 (1913-1985)。原子核理論。学習院大教授を経て東大名誉教授。
[7] 東大名誉教授。元物性研所長。
[8] 統計力学。九大助教授から東大教授を経て群馬大学長等を歴任。東大名誉教授。
[9] 統計力学。九大元教授。中部大名誉教授。
[10] 統計力学。阪大名誉教授。現米国法人 IEEU (国際地球環境大学) 総長
[11] 統計力学。阪大名誉教授。
[12] 九大元教授
[13] 分子軌道論等化学結合の理論で有名。Alberta 大学名誉教授。
[14] 故人。原子物理。京大名誉教授。荒木不二洋氏の父親。

H 何時頃、実際に分野を変えて留学したのですか？

K D1 です。準備はもっと前からしました。フルブライト留学生の資格を取ったり、交渉してグラントのある処に応募したりしました。

H それで Duke 大学を選ばれたのですか？固体物理 [3] によると広田良吾さん[15] と共に行動されて、Duke の選択は偶然で決まったとか書かれましたが。

K それは他愛もない話ですよ。彼が寺本英さん[16] と山口昌哉さん[17] との対談で私が何十通も手紙を書いたとか言っています。実際は何通か書きましたが。Duke は実験が強くて、ヘリウム 3 をやっていました。当時はフェルミ粒子が基本的だと思っていましたから。何も分かっていなかったのですね。

H それで広田さんはどちらへ。

K 私が書いた手紙に来た返事を見せ合っていい返事が来た処から選ぶのです。広田君は結局、Northwestern に行きました。当時 Siegert[18] という年配の方なら知っている統計力学の権威がいまして、広田君はそこに行きました。

H 今は応用数学ですから、運命の皮肉を感じますね。

K その他、京大原子炉におられた渋谷巖さんという方も一緒に留学したのです。彼は Pennsylvania 州立大学で X 線解析の実験をやりました。

H それで Duke におられて、論文リストを見ると Duke 時代の論文がないのですが。

K いやあ価値がないので。それでも日本に帰ってから Progress のレターとかに書いた筈ですよ。[5] 探してみようと思ったら見付からなかったので論文リストから抜けていますが。[19]

H なるほど。そうすると記念すべき処女論文は不明という事ですか。

K 小貫明さん[20] が知っている筈です。Duke では僕とホストの間にミスマッチがあったと思います。向こうは実験が強く、僕は素粒子をかじった影響でフォーマリズムとかに興味があったので物足らなく感じました。後になってみると Duke の実験家は尊敬すべき人達で、今にして考えるとフォーマリズムに拘るのは間違っていたと思います。学位論文は自分で考えて非可逆過程の一般論に関する事を書きました。指向は向こうの人達と違っていたのですが学位はくれました。当時は意識しなかったのですが一流の実験家と接して受けた影響は大変大きかったと思います。

[15] ソリトン理論で有名。早大教授。
[16] 故人。数理生物学。京大名誉教授。
[17] 故人。非線形数学。京大名誉教授。
[18] Arnold John Frederick Siegert(1911-95). 地球物理でも業績がある。
[19] 調べた結果、おそらく文献 [5] と思われる。
[20] 九大時代の川崎研助手を経て京大教授。

4　学位取得後。日本でのポスドク、助手時代。

H それで日本に帰って来られてすぐ基研に行かれたのですか？

K ちょっと空白があって何もしていなかったのですよ。ちょうどその頃学振奨励研究生というのが始まって田中友安さんの御尽力もあって学振の研究員になりました。最初九大にちょっといたのですよ。

H 森肇さん[21] 自身が九大におられたのですか？

K いや京都 (基研) ですよ。その前に Brown 大学におられたときに知り合って論文とか送ったのです。そうしたら非平衡の問題だから興味を持ってくれていろいろアドバイスとかコメントをくれました。森さんはその頃、九大の助手として (内地留学で東大の) 久保研におられた筈です。それから基研に移られて「来ないか」と僕を呼んでくれたのですよ。僕はちょうど結婚したすぐ後でした。

H それで森さんと一緒に Heisenberg 模型の微視的理論から de Gennes のキューリー点近傍の非弾性中性子散乱の現象論 [6] を導こうとされたのですか？

K 要するに当時の状況では久保理論 [7] があって、(松原の)Green 関数 [8] があったから、中身を作らないといけないという気運があったのですよ。その一つのターゲットが動的臨界現象だったのです。

H そうすると Heisenberg model の話 [9] は最初から動的臨界現象を指向されていたのですか。

K そうですよ。その頃、最初の中性子散乱の実験が Saclay から出て、critical slowing down が見えとかいう報告があったのです。 随分大胆な解析でエラーバーの大きなデータポイントが 3 つしかなく、その真中を通る直線を引いて、それで de Gennes[6] とか van Hove[10] とかの理論によって実験を説明できたとか言っていたのですよ。もっとも de Gennes[6] とか van Hove[10] の理論とかは自然なのですよ。帯磁率が発散して、Onsager 係数はよく分からないけれどまあ異常がないとするとああいった話になるのです。

H なるほど。それで固体物理では先生はあまり満足すべき理論ではなかったと言われていますが。[22]

K 満足していませんよ。あれは short time 近似なんですよ。現象自体は long time 近似が必要なのですよ。現象が短時間で終るというのならいいのですが。[23]

---

[21] 統計力学。九大名誉教授。現九州共立大学長。射影演算子を用いた森理論で知られる。

[22] しかしながら引用数は極めて多い。当時はかなり有名な論文であったことが窺える。この題材で最も引用されている論文は H. Mori and K. Kawasaki, Prog. Theor. Phys. **27**, 529 (1962) である。

[23] Green 関数を使った計算では一般に方程式が閉じないが、それをガウス近似等を使って揺らぎの非線形項等を落して計算している。

H 当然 critical slowing down があるから当然長時間の振舞いで決まるのですね。

K それに static susceptibility(帯磁率) からの寄与と Onsager 係数[24] からの寄与が混じっていますからね。時間相関関数を短時間のガウス近似で計算して Onsager 係数に異常がないとしたああいった計算法だけでは駄目と思っていました。

H それで名大に移られたのですか？履歴書には Instructor と書いてありますがポスドクですか？

K 工学部志水研[25] の助手です。

H だけど任期付だったのですか？

K それがはっきりしなかったのですよ。それと当時鳴子団地[26] に住んでいてすごく不便だったのですよ。名大に行くには鳴海に出て名鉄で名古屋駅まで出るか、金山で乗り換えるかする必要があったのですよ。通勤がしんどい事もあって毎日は出勤しませんでした。志水先生には随分御迷惑を掛けてしまいました。

5 渡米再び： 1963-66

5.1 有限密度における気体の輸送係数の対数密度補正項

H それで Oppenheim[27] の処へ行かれたのすか。どんなきっかけだったのでしょうか？

K 森さんが紹介してくれたのですよ。

H ああそうか。森さんが Brown 大学にいた時に Oppenheim と交流がありましたね。

K そのときに志水さんからは引き留めもあったのですが、アメリカ行きを決めたのでつっ走った処もあったのです。

H それでも Oppenheim の処でいい仕事を一杯なさったのですね。

K そうですね。非常にプラスでした。一番良かった時期ですね。あんまり自信があった訳ではなかったのです。

H そんな話はお聞きした様な気がします。特に気体分子運動論の仕事は最初、御不満だったとか。

[24] 輸送係数。Onsager が相反定理を証明したためにその名前で呼ばれる。
[25] 志水正男名大名誉教授。
[26] 鳴子団地は筆者の実家のそばである。丁度氏が在住していた 1963 年 4 月に鳴海町は名古屋市に合併されて緑区になった。従って当時は人口も少なく交通は不便だった。
[27] Irwin Oppenheim, MIT。

K 最初は臨界現象を新しいと思って基研でやっていたのですから (歴史のある気体分子運動論を研究するのには抵抗がありました)。だけど後になってからポジティブだったのです。

H 確かに気体分子運動論は当時は古いと思われていたのでしょうね。

K 日本ではもう久保公式とかでああいった話は終ったと思われていたのですよ。向こうはそれほど進展が早くなくて、気体分子運動論が終ったという意識はなかったようです。

H Green[28] の仕事 [11] とかはどう評価されていたのでしょうか？

K Green は逆に早すぎたのですよ。輸送係数を導くのには Markov 近似とか入っていましたからね。それで厳密な関係式かどうか疑問に思われていたのですよ。Green が 52 年と 54 年の論文 [11] で同等の式を出していたのですがとても exact とは思えなかったのです。

H で Oppenheim の処で輸送係数の密度補正について、Ernst[29] や Cohen[30] [12] のように一般化された Boltzmann 方程式に基づき計算されたのですか？

K いや Ernst とかとは Bogoliubov の方法 [13] による一般化された Boltzmann 方程式を使って輸送係数を計算して、久保公式の結果と違うと主張していたのですよ。それを聞いて Oppenheim は、それは本当か、本当なら重要な問題だという事で久保公式で計算してみようという話がありました。

H あ、久保公式で計算されたのですか？それで発散があったのですか。

K いや最初は 3 次元で第 1 ビリアル係数を計算したのです [14]。3 体衝突とかあって、ものすごく複雑な 3 体の計算が必要になるのです。Choh-Uhlenbeck の論文 [15] でもし相関関数が正しかったらそれと同等なものになるというものがあったのですよ。我々の計算はそれを確かめた事になるのですよ。[31]

H なるほど。膨大な計算の結果、(久保公式と一般化された Boltzmann 方程式の同等性を) 確認したことになったので、何とつまらないと思ったのですか。

K ところが 2 次元の方では密度補正は発散するのではないかという話を NBS[32] (現在の NIST[33]) の Sengers が持って来たのですよ。[34]

---

[28] M.S. Green. 故人。Temple University 教授だった。Domb-Green のシリーズの編者としても知られる。線形応答の公式では一般に Green-Kubo formula と呼ばれる。
[29] M. H. Ernst, Utrecht 大
[30] E. G. D. Cohen, Rockfeller 大
[31] 結果として Ernst-Cohen[12] は勇み足だったことになる。
[32] National Bureau of Standards
[33] National Institute of Standard and Technology
[34] Choh-Uhlenbeck[15] で 3 次元系の有限な第 1 ビリアル係数だけが計算されていた。

H それは当時論文になっていたのですか。

K いやなっていなかったと思います。

H Negative な結果は論文にしにくいですからね。

K 発散するというだけでどうなっているか分かっていませんからね。それでもう一回考え直そうという事になったのです。密度展開をすると発散する項が出て来るのであれば、展開をすればより強い発散が現われ来る筈だから、発散の最も強い項を集めればいいのではないかという事です。

H そういったアイデアは原子核とかプラズマとかであったのではないのでしょうか？

K そうです。クーロンガスでは良く知られていました。多粒子の玉突き衝突による ring collision というのが起こります。その結果を 1965 年に論文にしたのです。[16]

H 発表当時は周りがだいぶ懐疑的だったとか？

K そうですね。競争相手がそうだったというよりもやや距離を置いた立場にある人たちの方がより保守的だったですね。それで Oppenheim も自信をなくしたのでしょう。

H それでも計算のチェックをして翌年の国際会議で Oppenheim が発表して面目を施したのですか。[17]

K そうですね。

H 結果としてこれだけでも川崎の名は不朽のものになったのですが、どういう感慨を持たれたのでしょうか。

K ようやく研究者としてやっていく自信を持つことが出来たという事です。

5.2 Kawasaki dynamics

H 1965 年には他にも Kawasaki dynamics の論文も出ていますね。[18] そのきっかけになった国際会議は気体運動論のとは別ですね。

K そうです。その頃臨界点でスピン拡散係数が有限だという論文があったので、それを確かめるために stochastic に計算してみようと思ったのです。当時 Glauber の論文 [19] が注目を集めていましたから。[35]

[35] Glauber dynamics は非保存系のスピンダイナミックスの最も簡単なものである。動的臨界現象等で等価なモデルは Halperin 等 [20] の命名で Model A と呼ばれる。Model A は ϕ を秩序変数、$F\{\phi\}$ を自由エネルギー汎関数とすると $\phi_t = -L_0 \delta F/\delta\phi + \xi$ と書ける。ここで L_0 は Onsager 係数, ξ はノイズである。このモデルでは L は臨界点で発散し、その異常性を計算するためには動的くりこみ群が有効になる。

H Glauber[36] の J. Math. Phys. の論文 [19] は 63 年ですね。今では Kawasaki dynamics は格子欠陥の拡散という紹介のされ方が多いと思うのですが、そういう意識はあったのですか？

K いやそういう意識はなかったですね。あくまでスピンの運動として捉えていました。保存則があれば当然マクロな統計則に影響を与えると思っていましたが。

H Kawasaki dynamics という名称は誰がつけたのですか？

K Lebowitz[37] です。[21] 1975 年頃に彼らのグループでスピンダイナミックスのシミュレーションをやっていて、その折に彼らが用いたのが最初の様です。

H なるほど。随分時間が空いていたのですね。しかし名前がつくと論文の内容と無関係に有名になりますね。僕が 1989 年に渡米していた折にフラクタルをやっている Family[38] にお世話になりましたが、そういうちょっと離れた業界では Kawasaki dynamics の方が Mode Coupling より有名だった印象があります。

K 数学でも似た様なモデルはあった様です。尤も detailed balance を仮定していなかった様ですが。

H Kawasaki dynamics の論文での結論はどうだったのでしょうか？

K このモデルではスピン拡散係数は臨界点近傍では少なくとも帯磁率の逆数程度には消失する事が証明できたのです。

H そうか。Model B[39] では異常がないですね。ところで固体物理 [3] によると Debye[40] が褒めてくれたとか。

K そうですね。嬉しかったですよ。尤も純粋に dissipative でないときには話が違いますが。

5.3 Mode Coupling Theory

H さていよいよ mode coupling の話に移ります。mode coupling の最初の論文は 1966 年ですか。 [22]

K そうですが投稿は 65 年です。

H とすると先生の最も重要な 3 つのお仕事は全部 65 年になされたことになるのですか。

[36] Roy Glauber, Havard 大。専門は High Energy Physics
[37] Joel Lebowitz. Rutgers 大. 1992 Boltzmann medal 他。
[38] Ferydoon Family, Emory 大学
[39] やはり Halperin 等の命名に従う Kawasaki dynamics と等価なモデル。$\phi_t = L_0 \nabla^2 \delta F/\delta\phi + \xi$ と書ける。
[40] Petrus (Peter) Josephus Wilhelmus Debye, 1884-1966. 物理学辞典に数多くの項目を作っているあの Debye である。

K そうですね。ここが正念場と頑張ったのです。

H 固体物理 [3] によると mode coupling のアイデアは Fixman[41] によって 1962 年に提唱された [23] があまり注目されていなかったと書いておられたのですが、どうやってそういった論文を知る事が出来たのですか？

K 論文自体は基研にいるときに森さんが紹介してくれたのですが、何をやっているのかよく分からなかったですね。超音波吸収の実験とかはあって、Fixman[23] の仕事に触れていましたが、誰も理解していなかったと思います。マクロで話が閉じていましたからね。それをミクロなものと関連づけようという試みをしてみたのです。

H 今にして考えるとエントロピーと速度場の積であるフラックスの自己相関関数を求めるのに decoupling を用いたのは自然な様に感じるのですが。

K フラックスの相関を計算するところまで持って行ければそうなんですが、当時、どういうモードをどう繋げるかが分かっていなかったのです。

H なるほど。Mode Coupling 理論は 70 年迄かけてゆっくりと完成されていくので、また後で進展について話をすることにしましょう。

6 九大助教授時代：1966-69

H ちょうど Mode Coupling の最初の論文を投稿された後に九州に助教授として戻られたそうですが、どういうきっかけだったのでしょうか？

K Offer があったのですよ。そのちょっと前に森さんが教授として赴任されて、その助教授として呼ばれたのですよ。森さんは大物だから実験の半講座分を貰って 1 講座半の規模があったのです。

H 都築俊夫さん[42] が同僚助教授だったと思いますが、どちらの赴任が早かったのですか。

K 都築さんの方がちょっと早かったと思います。

H 森さんも動的臨界現象を森理論の枠組で捉えて連分数で解析されようとされてうまくいかなかったと伺いましたが。

K そうですね。連分数展開を使っても短時間近似の枠を出ていないというのと形式的計算に基づいていたので物理が入っていなかったと思います。一方、モード結合理論は長時間で重要になる集団運動を予め別に取り出しておいてから残った部分を短時間の計算を行うというものですからうまくいったのだと思います。

H いろいろ仕事をされてから日本に帰国されて感じた事はあったのでしょうか？

[41] Marshall Fixman, Colorado State 大。専門は高分子化学。
[42] 東北大名誉教授。

K 一つは姿勢の違いです。日本人は数学が強く、elegant に仕事をしようとして多くの成功を収めた半面、それに縛られたきらいがあります。

H 日本人は数学が得意ですか。確かに当時の物性では久保理論 [7]、松原 Green 関数 [8]、森理論 [24] 等、非常にきれいな一般論が日本で展開されましたね。

K それと日本は (いろいろな意味で) 非常に均質であって、現象論を蔑み、全てをミクロに計算すべしとする傾向があったと思います。それが一番顕著に現われたのは臨界現象の革命への対応であって、アメリカでは Kadanoff[43] [25] や Widom[44] [26] のスケーリング理論等を受容する柔軟さがあったと思います。

H 確かに僕も講義してみて Kadanoff のスケーリングとかは宇宙論の学生には理解できないという事を発見しました。ああいった発想は分かりにくいですね。

K Kadanoff は以前はオーソドックスな計算をしていましたからどっかでスタイルが変わったのです。それだけ思考が柔軟なのです。

H 確かに Baym[45] との教科書 [27] は普通の本ですね。

K しかしスケーリング理論は筋が入っていて非常に物理的なのです。こういった理論を受け入れる土壌はアメリカのスペクトルの広さにあるのでしょう。

H モード結合理論の受容過程とかはどうだったのでしょうか？

K Ferrel の動的スケーリング理論 [28] があって計算をあまりしないで正しい臨界指数を計算できるようになった事と、Kadanoff と Swift[46] による気液転移でどのモードを結合させるかをはっきりさせた論文 [29] がありました。

H Kadanoff-Swift の論文 [29] は今読んでも比較的整理されていて分かりやすい印象があります。そういう人がモード結合理論を使って先生の理論を宣伝された訳ですが、論文を読まれたときの印象はどうだったのでしょうか？

K あまり記憶はありません。ただ嬉しかったことは事実です。

7 渡米、三度： 1969-73

7.1 渡米直後

H さて 1969 年はじめに九州を離れて、みたび渡米される訳ですが、それは Kadanoff が呼んだのですか？

[43] Leo P. Kadanoff, Chicago 大。1989 年 Boltzmann medal.
[44] Benjamin Widom, Cornell 大。1998 年 Boltzmann medal.
[45] Gordon Baym. Illinois 大
[46] J. B. Swift, Univ. of Texas at Austin

K そうです。

H 何で九大の助教授のポストを捨てて渡米されたのでしょうか。

K まあデリケートな問題がいろいろありまして。あの頃 1968 年に統計物理の国際会議がありまして、動的臨界現象もその一つのトピックスとして取り上げられたのです。そこで森さんはしっかりしたものを発表しようとして研究会を開いたりして準備をされたりしたのです。そういう流れの中で研究室一丸で同じ事を研究していこうとするのにちょっと違和感がありました。

H それで Kadanoff が呼んだときに 1 年位は九大から出張という形を取ったのですか？

K 森さんがそういう形を取ったのです。私はやめてもいいと思っていたのですが。

H それで 1 年経って退職となったのですか。

K 多分、最初は休職で、それから退職でしょう。はっきり覚えていませんが。

H イリノイに行かれて、Kadanoff とは論文を書いていませんね。

K そうですね。その頃、彼は興味が移っていて、静的な臨界現象を研究していたのです。

H ああそうか、くりこみ群前夜ですからね。それでお聞きしたいことがあったのですが、先生は目の前でくりこみ群をまのあたりにされたのにも拘らず敢えて静的な問題に手を出されなかったという印象を持っていますが、どうなのでしょうか？

K やっぱり同じ事をやりたくないというのがありましたし、正直言ってあまり理解できなかったのです。実は Wilson[47] がプレプリントを送ってくれたのですが正直言って理解できなかったのです。

H あの Physical Review B のですか。

K 71 年のです [30]。phase space 的なものを用いた乱暴なものでした。その当時、くりこむべき成分というものが頭に入っていませんから。何をくりこむかが分かっていたら後はできたのだと思いますが。

H でも固体物理 [3] の一番最後のところでは Wilson のまわりに人垣が出来ていたと結んでいましたが。すると知っているは知っていたのですか？

K それはくりこみ群が世に出る前の話ですね。70 年の冬の Kadanoff 主催のニューポートビーチでの会議があって Widom も出ていました。どういう訳かえらく人だかりが出来ていたのを覚えています。知っている人は知っていたのでしょう。何かが起こっている事を。まあ静的な話でしたから

H なるほど。会議が一杯開かれたのですが先生は Dynamics の話をされていたのですか。

[47] Kenneth G. Wilson, Ohio State 大。 1982 ノーベル賞。

K そうです。

H 話は前後しますがベル研に行ったのは 1969 年の夏ですか？

K そうです。刺激的でしたね。秀才が集まっているというか。Halperin[48] , Hohenberg[49] , Anderson[50] 等きら星の如くいましたからね。イリノイにも立派な人がいましたよ。Marcus[51] というのが Caltech に行ってノーベル化学賞を貰ったのですよ。化学で理論は彼一人だったのでよく話をしました。

H 彼は何でノーベル賞を貰っていたのですか？

K 化学反応ですよ。溶媒効果とかです。

H なるほど知りませんでした。ところで先生は statics に手を出さなかった事に後悔はなかったのでしょうか？

K いやないですね。いろんな事はできないので。

7.2 Mode Coupling Theory の完成

H それで Annals[31] に繋がる訳ですが、それは集大成という意識はあったのですか？

K 相関関数でやるというのを書いてからいろいろありまして、乱流で似た様な考え方の論文がありました。ミクロとマクロの間のメソスケールでの揺らぎの理論です。言葉の上だけかもしれませんが割合アナロジーは効くのですよ。ミクロとマクロの間の、ちょうどボルツマン方程式に対応するレジームが当然臨界現象にもある筈です。それである程度 General にやってみましょうという目論見があったのです。方法は乱流の方から借りて来たものなんですよ。

H DIA[52] とかですか？

K そうです。Kraichnan[32] の奴は分かりにくいのでそれと等価と言われていた Wyld[33] のを使ったのです。彼の方法では場の理論のダイヤグラムを用いていました。(臨界現象に焼き直すには) Navier-Stokes を非線形 Langevin 方程式とみなして perturbation で resummation をするという考えです。

H Kraichnan のは乱流の専門家でも分かりにくいとは聞いています。[53]

[48] Bertrand I. Halperin, Havard 大、
[49] Pierre C. Hohenberg, Yale 大、 Fritz London Prize 1990 等
[50] Phillip W. Anderson, Princeton 大。1977 年ノーベル物理学賞。
[51] R. A. Marcus は溶液中の電子移動反応速度に対する理論で 1992 年のノーベル化学賞を受賞している。
[52] Direct Interaction Approximation: 乱流の統計的性質を説明するための closure method. 一世を風靡した。
[53] Wyld の定式化は low Reynolds number expansion であり、乱流の様な high Reynolds number の現象に本当に有効かどうかの議論がある。一般に流布しているのは Wyld の再解釈のもので、Kraichnan のオリジナルなものとの等価性についての疑問が最近問題になっている。

K そこには 2 つのステップがあります。一つは非線形 Langevin 方程式を導くという事で、もう一つはそれを用いてマクロな統計法則を導くというものです。気体論では非線形 Langevin はボルツマン方程式に対応して、後者は Boltzmann 方程式を用いて Navier-Stokes 方程式を導くというものに対応します。当然、その二つのステップは (質的に異なる) 別のステップなんです。そうしたものが当然、臨界現象でもあると考えたのです。

H なるほど。

K そういう事は誰も思い付かなかったのですよ。そう考えると自然でいろいろ物が見えて来る。スケールの分離についての問題点が見えて来たのです。ミクロな相関長が長くなるとマクロなもので閉じなくなって来ます。High frequecy ではマクロな性質がメソでも見えて来る。mean free path がうんと長くなると Navier-Stokes が使えなくなってしまう。こういったものはいろいろなところで共通なのです。そこまで Conceptual level でもはっきりしてきたのです。

H やっぱり御自分ではっきりしたのですか？

K それはねガス理論で苦労したのが役に立ったのです。自分で論文を書かないと頭に入らないですよ。一見臨界現象と関係ないですから。

7.3 動的くりこみ群

H その次は動的くりこみ群になると思うのですが。伝え聞いた処によると動的くりこみ群では立ち遅れて悔しい思いをされたとか?Phase Transitions and Critical Phenomena[34] の解説を書いていて Halperin とか Hohenberg に遅れを取ったとか。

K ちょっと記憶にないですね。やっぱり statics と一緒に発散の処理をくりこみ群で考えるでしょう。動的な話を理解するために Gunton[54] と論文を書いたのですよ [35]。

H それは Halperin や Hohenberg[36] の最初の論文より前ですか？

K 後です。75 年位です。液体 (model H) [55] に関するものでした。

H ところで Model H の方程式は先生が導出されたと言っていいのですか？

K Kadanoff-Swift[29] がどういうモデルを使うべきかというのをある程度書いているのですよ。彼が Liquid-gas transition で熱伝導係数とかの輸送係数を議論しているのですよ。それをもっと一般に使おうとしたのです。

---

[54] Jim D. Gunton, Lehigh 大。

[55] 気液相転移や 2 相流体の転移に用いられる。$\phi_t = L_0\nabla^2\delta F/\delta\phi - g_0\nabla\phi\delta F/\delta\mathbf{v} + \theta$ と $\mathbf{v}_t = T[\eta_0\nabla^\delta F/\delta\mathbf{v} + g_0\nabla\phi\delta F/\delta\phi + \zeta]$ の連立方程式。ここで T_{ij} のフーリエ変換は $T^k_{ij} = \delta^k_{ij} - k_ik_j/k$ という射影演算子、即ち T_{ij} は Oseen tensor であり、実空間では非局所的な積分を伴う。θ, ζ はノイズ。

H それをもっとあからさまに書いたのですか。

K そうですね。kinetic equation の立場に立ってね。

H Model H のくりこみ群の話は Gunton の話はありましたが Halperin たちの [37] もあってどっちが早かったのですか？

K さあどっちですかね。

H やっぱり競争ですか。

K というより理解したかったですね。モード結合はパッと揺らぎを積分しますが、くりこみ群は少しづつ積分していくのです。

H 結果として見ると粘性係数の異常は 3 次元では非常に小さい。それは先生にとってはラッキーだったのでしょうか？

K そういう事もあるでしょうね。今はその異常を直接無重力で測れる様になっています。[38] そうすると粘性率の弱い発散が直接見え、くりこみ群の有効性はよりはっきりします。

H 先程の話に戻ると review[34] を書かれる時に動的くりこみ群がわっと発展して焦りとかは少しはあったのでしょうか？

K あれはくりこみ群とか書いていないのです。原稿自体はだいぶ前に書いてありました。発表されるまでに随分かかって、あれはあまり成功しなかったですね。だから本を書く気があまりなくなってしまったのです。やっぱり途中でひっかかると不安になって、そこを追求していくと書かれたものがバランスを崩してしまうのです。

H いやあ我々も本を書く世代になって、そういう事を痛感しています。

K 本を書くには潔さが必要ですね。

H Temple 大に移ったのは 70 年ですか。結構早かったですのね。Associate Professor ですからもう permanent になったのですか？

K 最初は違ったですよ。(通常は Associate Professor になると獲得できる) tenur track がどういう訳かあそこはなかったのです。(Temple で実際に人物や能力を見てからテニアにするかを) 後で考えるという事だったのです。よほどへまをしない限りは大丈夫だったのですが。

8　帰国と基研教授時代：1973-76

H Temple で Professor になられて基研に戻られたのですが。日本に戻られたのは？

K いろいろ迷ったのですよ。私はずっといてもいいと思ったのですが家族の問題とかあるでしょう。日本に帰るか向こうに永住するのかの決断でした。

H 基研の場合は向こうが呼んだのですか？

K 家族が帰りたいというので応募したのです。

H あのとき、基研には誰がおられたのですか？先生の前任者は誰だったのですか？

K 前任者は松田博嗣[56] さんですよ。助教授が川畑有郷さん[57] で、助手が垣谷俊昭さん[58] でした。垣谷さんがすぐやめられて氷上忍さん[59] が来られたのです。川畑さんは当時在外で僕の着任後に帰国されました。

H 前に伺ったところによると基研は居心地が悪く、大した仕事ができなかったとか。

K よそから見ると恵まれている様に見えますが、雑用が多いのです。人数が少なくて割合行事が多いので、何かと言えば駆り出されて時間を潰される事が多かったと様に思えます。またセンターにいるから立派な事をやらないといけないといけないというプレッシャーがあったのです。やはり心理的な余裕がないといい仕事はできないですね。

H そうすると岩波から出ている「量子力学５０年」の本 [39] で先生は静的くりこみ群の解説をされていますが、それは本意ではなかったのですか？

K あれは九州で書いたのですよ。

H だいぶ後なのですか。シンポジウム自体はだいぶ前にやって、原稿はだいぶ後から集めたのですか。[60] あれは非常に読みやすいと思います。くりこみ群の本質はあれで尽きているし、あれより長いと読むのは大変だし、短いと分かりので過不足なく書かれていたと思います。

K いろいろ勉強しましたけどね。

H 静的なくりこみ群はやっていなかったのですが、ああいった原稿の依頼はあったのですか。

K 依頼がありましたね。恒藤さん[61] からだと思います。

H 恒藤さんは編者に入っていましたね。後は江沢さん[62] かな。やっぱり落ち着かなかったからあまり突っ込んだ研究は出来なかったですか？

[56] 数理生物学。九大名誉教授。
[57] 物性理論。学習院大教授。
[58] 生物物理学。名大教授。
[59] 物性理論。東大教授。
[60] 後で本を読むとシンポジウムがあったという記載はない。早川の勘違いであろう。
[61] 恒藤敏彦。物性理論。京大名誉教授。
[62] 江沢洋。理論物理。学習院大教授。

K そうですね。基研は難しいですからね。

H ３年位いたのですか。

K ３年足らずですね。逆にもうちょっといたかったのですが。

H 太田隆夫さん[63] は先生が基研におられる頃に弟子入りされたと聞きましたが。

K そうですね。よく来ていました。どうしても臨界現象をやりたいということで。彼は富田研の学生でした。富田和久さん[64] の処で化学反応とか非平衡の事をおやりになっていたのです。

9　九大教授時代： 1976-94

9.1　シア流による臨界点の変化

H それで九州へ移られますが、そのきっかけは応募されたのですか？それとも呼ばれたのですか。

K 森さんに呼ばれたのですよ。九州に行く気はなかったですから。今度は教授にという事ですから応じました。

H 逆に言えば物性理論の教授は森さんだけだったのですか。

K そうです。助教授がいて、後実験の講座を振り替えたポストがありました。

H そうすると戻った時に都築さんはおられたのですか？ああいないですね。[65]

そうすると蔵本由紀さん[66] はどうだったのですか。

K 蔵本さんはすれちがいでした。完全に相補的でしたね。僕が九州を出たときに助手で来られて、戻ったときには基研の方に移られましたから。彼が住んでいた同じ公務員宿舎のアパートに入ることになるのですけどね。

H 僕がいたときもあの辺りの部屋の火元責任者は蔵本さんになっていましたからね。それでスピノーダル分解とかは基研にいる頃から始められたのですか？

K 関心は前からありました。臨界現象やくりこみ群は終って。物理の方ではスピノーダル分解などの研究はなかったのでタイムリーでしたね。

---

[63] 広島大教授
[64] 故人。京大名誉教授。
[65] 筆者の一人合点で失礼した。都築氏は 1974 年に東北大の教授になっている。何でそんなことを知っているかと言えば、筆者は都築研の助手だったからである。
[66] 京大教授

H それでも TDGL(time dependent Ginzburg Landau) 方程式は使えるのはご存知でしたか。

K Cahn-Hillard[67] [40] とかは知っていましたから。1958 年位でしたかね。ああいった非線形のどうしようもないのがありました。

H 小貫さんを助手で取られたのは九州に行かれてすぐですか。

K そうですね。

H 小貫さんとの仕事 [41] は前をひきずっているというか shear の問題にくりこみ群を使われて、臨界点が変化する事を示されましたね。

K 僕は斬新な印象を持ちました。彼が研究会で話したのですよ。

H そうすると先生と共同研究をされる前にある程度進めていたのですか。

K そうです。研究会で聞いて非常に面白いと思いました。久保さん[68] も強く推薦しましたし。僕の寄与はくりこみ群の手法を使ってもっときっちりと計算できる事を示した事です。

H 最近もああいった問題を熱力学のみで再定式化しようと動きがあり重要な問題ですね。ところで太田さんは研究生か何かで先生についていかれたのですか？

K 学生のままで学位を取る前から来ていました。学位は京大で取りましたが。

H 助手になったのは 1 年後ですか？

K そのとき取れる助手のポストは一つだけでしたからね。太田さんはおられましたが、その時は僕は小貫さんに惹かれていましたからね。そのかわり太田君は Pittsburg[69] に行きました。彼については二人目のポストが来たら考えるという事でした。

H それは長くはないのですね。OJK[42] の頃はまた別ですね。

K あのときは短期滞在でした。

9.2 界面ダイナミックス

H スピノーダル分解との絡みでの界面ダイナミックスは専ら太田さんと一緒でしたよね。小貫さんはおやりにならなかったのですか？

[67] Cahn-Hillard 方程式は Model B でノイズを落したもの。Cahn-Hillard と言うときは臨界点以下を仮定して、相分離の進行ダイナミックスを指す。
[68] 久保亮五, 1920-1995. 東大名誉教授。線形応答理論で 1977 年に Boltzmann medal 受賞。
[69] Pittsburg には理論に D. Jasnow、実験に Goldburg がいた。

K やっていなかったのですね。太田さんは前から液体のスピノーダル分解をやっていて、Pittsburg で実験にも刺激を受けたということです。界面が重要だというのは前から指摘があって。非線形性が効きますからね。static な研究はあったのです。Wagner[43] とか。今度は同じ事を界面ダイナミックスをすればいいと云う事だったのです。Allen-Cahn[44] とかありましたが。[70]

H なるほど。Wagner[43] とかは僕も勉強した記憶があります。ところで Allen-Cahn[44] はご存知だったのですか。

K 最初は知らなかったのですが、ある段階から気がつきました。

H そうすると Kawasaki-Ohta[45] が出る前に知っていたのですね。

K そうです。あれは 82 年で Allen-Cahn は 79 年ですから。引用したかどうかは覚えていません[71] が同じ頃知っていたのは確かです。

H 確かに Kawasaki- Ohta[45] の論文は Wagner[43] のに dynamics をいれたという形になっていますね。

K そうですね。だからぎこちない感じがします。平面からの展開でやっていましたから。curvature を使えばもっとすっきりしたのですが。

H 逆に云うと保存系のダイナミックスは先生のが最初だったのですか。

K それはね。Langer and Müller-Krumbhaar[47] というのがあって、Langer[72] のレビュー [48] のに引用されていたのがあります。僕等は流体の効果を入れたというのですね。

H そうですね。83 年 [49] のには入っていますね。

K 2 成分系の話は Siggia[50] のが 79 年に出ていますね。次元解析で大事な処を押えている。

H そうですね。ところで等高線の方法を使った OJK[42] の論文に話を移しますが、相分離の後期過程で 78 年におやりになった KYG[46] とほぼ同じ結果を出されていますよね。[73]

K 拡散係数とかが違っていました。等高線の方法自体は知っていましたがメインとなって解析されたのは太田さんです。着想は九州にいる頃に彼が得て、Pittsburg で完成されたのです。

---

[70] Model A の様な非保存系の相分離で界面の移動速度はその界面の平均曲率に比例するということを示した。

[71] 引用してある。

[72] Jim S. Langer, Univ. of Calfornia at Santa Barbara.

[73] KYG では摂動論に基づき、秩序変数を近似的に解いてから同時刻 2 体相関関数を計算している。一方、OJK では界面ダイナミックスに補助場を等高線の方法でカップルさせて、その補助場 (u-field) が $u = 0$ を充たす処が界面の位置を表し、$u - field$ 自体が拡散運動をするとして相関を計算した。

H 僕は KYG[46] との一致は偶然という印象を持っています。KYG は保存系には使えないし、長距離相互作用系の場合も界面ダイナミックスを使った方が正確に計算できます。

K 界面ダイナミックスは defect の解消には時間がかかるという本質が見えやすかったと思います。もっとも Bray-Puri[51] や豊木さん [52] が $O(n)$ 対称性を持つ秩序変数の相分離ダイナミックスを defect のない領域迄広げて KYG 的な議論で成功していますが。[74]

H ですからあれは $n \to \infty$ と $n = 1$ でうまく行っていので間でうまく行っている保証はないですよ。長距離相互作用系では Bray[75] とコンタクトがありましたが、界面ダイナミックスの有効性を指摘したのは他ならぬ彼自身です。

K 次元解析で議論していた分ですね。

H OJK[42] で等高線の方法で現れた補助場 (u-field) の非線形方程式, 1 次元で書けば $u_t = (u_x/|u_x|)_x$ という方程式を decoupling で拡散方程式にしていますが、最近、小林亮さん[76] あたりが、その手の方程式を正しく解析する方法を開発された様です。あるいは OJK で実験と微妙にずれていた処が改善するかもしれませんね。

K そうですか。しかし OJK はガウス性を仮定していましたから高次の相関でぼろが出るでしょう。保存系はうまく行きませんしね。

H まあそうかもしれませんね。保存系はうまくいっていないし、大野さん[77] がガウス性はないという論文 [53] を書いていましたね。

H ところで界面ダイナミックスの重要性を先生は宣伝はされていませんが、すごく広がりがあって、数学の人達が一杯やっていますが、そういった予感はあったのですか。

K 意識はしていなかったですよ。等高線の方法は儀我美一さん[78] とかがやっていますね。

H 西浦廉政さん[79] とかもね。今週、九大の応力研[80] で研究会があって、やっと界面ダイナミックスも先生のおやりになっていた次の段階に入ったという印象を受けました。でも先生のラインの中ではあるのですが、replicator という自己複製するパターンを解析するのですが。今までだったら指数関数のテールで相互作用するという程度しか分かりませんでしたが、その系では斥力があってパルスピークあたりが固有値解析から不安定になることが分かったんです。従ってパルスが分裂する。また端の方がパル

[74] $n = 1$ がスカラー、$n = 2$ が複素数、$n = 3$ がベクトル的な秩序変数を表す。一般に空間次元 d に対して $n \leq d$ のときに欠陥がある。$d = 3$ では $n = 1$ は界面、$n = 2$ は (vortex) string、$n = 3$ は hedgehog(monopole) である。また $n \to \infty$ は spherical model であり、可解である。
[75] Alan Bray, Manchester 大。
[76] 非線形数学。北大助教授
[77] Illinois 大。
[78] 非線形数学。北大教授。
[79] 非線形数学。北大教授。
[80] ２００１年2月１９日 (月)・２０日 (火)・２１日 (水): 「界面運動の記述と理論解析」

スが不安定になるという事を繰り返す事で理論的に自己複製パターンをある程度説明したのです。まあ新たな段階に入ったという印象を持ちました [54]。しかし物理サイドからは先生の影響が大きいと思いますが。

K 冶金学とかありましたから。

H 確かに Allen-Cahn[44] は大きいですね。また数学だと Carr-Pego とか [55]。でも思いがけない影響がありましたよね。太田さんなんかは今や数学科にいるのですから。

9.3 対象の広がり

H こういった界面ダイナミックスをずっとおやりになって、僕の印象では 85 年位からいろいろな物質に興味が移って行った事になりますが。ゲルとか泡とか Grains とか高分子とか。

K ゲルはあれは田中豊一さん[81] の実験を見てね。その他のものを含めて、必ずしも成功したとは云えませんね。

H それはそれとして。界面ダイナミックスは TDGL で大体統一されていましたが、対象の広がりにつれて共通する側面はあったにせよ、方法論は様々になりましたし、対象は広がりました。そこで心境の変化とかあったのでしょうか？

K 最初はともかく、マンネリになりましたからね。それと学生の指導を考えるともう少し物質科学の方向をやらないといけないと思ったのです。

H それはどうしてでしょうか。

K 必ずしも皆、秀才が入って来る訳ではないですから具体的な事を計算機でやった方が良いと思ったのです。それはそれで良かったと思います。後で皆就職があったですから。

H そうですね。計算機の話が今、出て来ましたが、先生は勿論、御自分では計算されなかったのですが、その頃から計算機を使った論文を書き始めましたね。それはどうしてですか。

K 非線形の問題は手計算では解けないので、計算機と併用する必要があり、また併用で強力な武器になるからですね。

H 計算機をシミュレーションの形で使い始めたのは誰との仕事ですか。

K 長井達三さん[82] とのキンクダイナミックスからでしょう [56]。彼は福山秀敏さん[83] との Wigner-Seitz セルの仕事 [57] があって、計算機の素養がありました。

[81] 先程 MIT 教授のまま急逝された。
[82] 九州共立大教授。
[83] 物性理論。東大教授。

H 太田さんや関本謙さん[84] は、末松君[85] みたいな学生を使う事はあっても、直接は自分で計算機でシミュレーションはされていないですよね。

K そうです。川勝年洋さん[86] からですね。計算機物理を意識したのは。彼は物理もよく分かっているし、計算機も出来たのです。

9.4 ガラス転移

H 90 年代に入ると先生はガラス転移に急に関心を持つようになった印象がありますが、どういうきっかけだったのでしょうか。

K 前から関心はあったのですが, 85 年に Mazenko[58] が短距離の効果を巧みに採り入れた mode coupling を使った論文を出して本当だろうかと思ったのがきっかけです。それで 91 年に東和大学で Slow dynamics のシンポジウム [59] を開催して、皆を一同に集めてみたのです。

H 僕が卒業したのは 91 年の 3 月で、それまでに守田君がコロイドのガラスで修士論文[87] を書いたり、森口君[88] がそれを継ごうとしていましたが、11 月の会議で一挙にガラスに傾斜していったのをまのあたりにして驚いた記憶があります。

K ともかくガラスの問題は構成粒子の構造といった短距離スケールが見えて来ますから、従来のモード結合が有効だった臨界現象の問題とは随分違ったものでした。

H Mode Coupling はあまり成功した印象を持っていないのですが。

K ガラス転移点そのものでは駄目ですね。しかし転移点から離れた液体状態での slowing down には有効です。尤も Götze[60] 辺りが大風呂敷を広げてガラス転移は解決したと主張したのと、理論があまりにも分かりにくいので、昔から研究している人達から反発を受けた側面はあります。

10 展望

H なるほど。ガラス転移は難しいですね。僕も粉体をやっていて、粉体はガラス化の宝庫ですから、難しさがよく分かります。粒子の個性が見えて来るという個別性が見えて来るので本当に普遍的なものがあるのだろうかというジレンマを感じます。

[84] 川崎研助手から現在は京大教授。
[85] 末松伸朗。1989 年修士。現、広島市立大学
[86] 川崎研助手から現在名大助教授。
[87] 1991 修士
[88] 1995 博士。東和大学

K 転移は協同現象ですから何らかの意味で普遍性があるのでしょう。しかしそういったジレンマは少しづつ解消していけばいいのです。また普遍性に対する考え方は歴史的に見ても行きつ戻りつしています。

H と言いますと？

K 例えば 1895 年の Curie の論文ではユニバーサリティーの意識があったと思います。その後の Weiss の論文とかもそうですね。ところが Onsager が強力な数学を使って Ising model の厳密解を求めることで皆が幻惑されてしまった面があります。無論、Onsager の理論で初めて臨界現象がどういうものか分かった面もあるのですが。それで 70 年のくりこみ群によって普遍性の有効性が再認識されるに至って、今度は過度に普遍性信仰に頼った議論がされる様になりました。例えば DLA[89] とかではそういった観点から多数の論文が書かれましたが、アナロジーだけでは実際の現象の説明には限界があったと思います。今は臨界点からちょっとずれた非普遍的な問題も考えなくてはいけない状態にあるという事でしょう。その問題に徹して考える必要があります。まずは自然現象をそのままで見る事が重要だと思います。

H なるほど。今後を考える上で参考になります。残り時間も僅かになった事ですし、最後に 2 1 世紀の統計物理に期待するものとかを語って頂けないでしょうか。

K 先程の話に繋がりますが、実験から学ぶ事が多いと思います。

H 先生から実験を説明できない理論は意味がないとたたき込まれましたからよく分かります。

K 意味がない訳ではないですが、やはり自然現象ですから実験が最良の指針となります。

H 計算機シミュレーションとかはどうなんでしょうか。

K 計算機は理論と組み合わせると有効だと思います。

H それは遅ればせながら私も痛感しています。私がお聞きしたいのは計算機実験が実験の代わりになるかどうかという事です。

K 実験ではいろいろな全然分からないものが含まれていますから得体の知れない、予測もしない様なものが得られることがあります。ノーベル賞を取った白川さんのもそうですが、一昔前の高温超伝導もそうです。一方、計算機は基本的には input されたもの以上は出て来ません。そういう意味で実験の代わりは難しいのではないかと思います。

[89] Diffusion Limited Aggregation. Witten and Sander がコンピューターによってリアルなフラクタル図形を 1981 年に作り、一種のブームになった。しかし、その研究の結果が物理に豊かな稔りをもたらしたかどうかは疑問符がつくかもしれない。

H 確かに計算機で思いがけない発見というのは少ないですね。Fermi-Pasta-Ulam[90] とか今度先生と一緒に受賞される Alder[91] の Alder 転移[92] とか位しか思い浮かばないですね。

K まあそういったものもあるから一概には言えないのですが。

H なるほど。ところでこの 3 月で中部大学を退官されるそうですが、今後はどうされるのでしょうか。

K Los Alamos に行きます。Ulam Scholar という身分です。前、金子さん[93] も行ってらしたそうですね。

H アメリカでの研究生活での成果を期待致します。本日はどうも興味深い話をありがとうございました。改めて Boltzmann medal 受賞おめでとうございました。

参考文献

[1] J. Gunton, T. Ohta and A. Onuki eds. Physica A **204**, 800 (1994).

[2] 川崎恭治、非平衡と相転移ーメソスケールの統計物理学ー (朝倉書店, 2000).

[3] 川崎恭治、統計物理学とともに：1957 年-1970 年、固体物理 **31**, 67 (1996).

[4] 藤永茂、ロバート・オッペンハイマー、愚者としての科学者 (朝日選書 549, 朝日新聞社、1996).

[5] K. Kawasaki, Prog. Theor. Phys. **23**, 755 (1960).

[6] P. G. de Gennes, J. Phys. Chem. Solids, **4**,223.

[7] R. Kubo, J. Phys. Soc. Jpn. **12**, 570 (1957).

[8] T. Matsubara, Prog. Theor. Phys. **14**, 351 (1955).

[9] K. Kawasaki and H. Mori, Prog. Theor. Phys. **25**, 1045 (1961): ibid **27**, 529 (1962).

[10] L. van Hove, Phys. Rev. **95**, 249 (1954).

[11] M. S. Green, J. Chem. Phys. **20**, 1281 (1952): ibid **22**, 398 (1954).

[12] E. G. D. Cohen and M. H. Ernst, Phys. Lett. **5**, 192 (1963).

[90] Fermi 等が計算機によって非線形性がエルゴード性を作るかどうかを確かめた数値計算。予想に反し、弱い非線形ポテンシャル下ではソリトン的なものが確かめられた。
[91] Benri Alder, Univ. of Calfornia at Davis.
[92] 剛体球だけで生じる固液転移。
[93] 複雑系。東大教授。

[13] N. N. Bogoliubov, in Studies in Statistical Mechanics, Vol.1 edited by J. de Boer and G. E. Uhlenbeck (North-Holland, Amsterdam, 1961).

[14] K. Kawasaki and I. Oppenheim, Phys. Rev. **136**, 1519 (1964).

[15] S. T. Choh and G. E. Uhlenbeck, 'The Kinetic Theory of Dense Gases' disseration, Univ. of Michigan (1958).

[16] K. Kawasaki and I. Oppenheim, Phys. Rev. **139**, A1763 (1965).

[17] K. Kawasaki and I. Oppenheim, in Statistical Mechanics, edited by T. Bak (Benjamin, 1967).

[18] K. Kawasaki, Phys. Rev. **145**, 224 (1966): ibid **148**, 375 (1966): ibid **150**, 285 (1966).

[19] R. Glauber, J. Math. Phys. **4**, 294 (1963).

[20] P. C. Hohenberg and B. I. Halperin, Rev. Mod. Phys. **49**, 435 (1977).

[21] A. B. Bortz, M.H. Kalos and J.L. Lebowitz, J. Comp. Phys. **17**, 10 (1975) と思われる。しかし Kawasaki dynamics の論文は引用していない。

[22] K. Kawasaki, Phys. Rev. **150**, 291 (1966).

[23] M. Fixman, J. Chem. Phys. **36**, 310 (1962).

[24] H. Mori, Prog. Theor. Phys. **34**, 399 (1965).

[25] L. P. Kadanoff, Physics **2**, 263 (1966).

[26] B. Widom, J. Chem. Phys. **43**, 3898 (1965).

[27] L. P. Kadanoff and G. Baym, Quantum statistical mechanics : Green's function methods in equilibrium and nonequilibrium problems (Benjamin, New York, 1962).

[28] R. Ferrel, Phys. Rev. Lett. **24**, 1169 (1970).

[29] L. P. Kadanoff and J. Swift, Phys. Rev. **166**, 89 (1968).

[30] K. G. Wilson, Phys. Rev. B **4**, 3174 (1971): ibid, **4**, 3184 (1971).

[31] K. Kawasaki, Ann. Phys. New York, **61**, 1 (1970).

[32] R. H. Kraichnan, Phys. Rev. **109**, 1407 (1958): J. Fluid Mech. **5**, 497 (1959).

[33] H. W. Wyld, Jr. Ann. Phys. (New York) **14**, 143 (1963).

[34] K. Kawasaki, in Phase Transitions and Critical Phenomena, Vol. 5A , edited by C. Domb and M. S. Green (Academic Press, 1976).

[35] K. Kawasaki and J. D. Gunton, J. Phys. A **8**, 69 (1975).

[36] B.I. Halperin, P. C. Hohenberg and S. Ma, Phys. Rev. Lett. **29**, 1548 (1972).

[37] B. I. Halperin, P. C. Hohenberg and E. D. Siggia, Phys. Rev. Lett. **32**, 1289 (1974): Phys. Rev. B **13**, 1299 (1976).

[38] R. F. Berg, M. R. Moldover and G. A. Zimmerli, Phys, Rev. Lett. **82**, 920 (1999).

[39] 江沢洋、恒藤敏彦編、量子物理学の展望 (岩波書店, 1977). 川崎の解説は「物性論とくりこみ群」で下巻 pp. 487-505 にある。

[40] J. Cahn and J. Hillard, J. Chem. Phys. **28**, 258 (1958).

[41] A. Onuki and K. Kawasaki, Ann. Phys. New York, **121**, 456 (1979).

[42] T. Ohta, D. Jasnow and K. Kawasaki, Phys. Rev. Lett. **49**, 1223 (1982).

[43] H. W. Diehl, D. M. Kroll and H. Wagner, Z. Phys. B **36**, 329 (1980).

[44] J. Allen and J. Cahn, Acta Metal. **27**, 1085.

[45] K. Kawasaki and T. Ohta, Prog. Theor. Phys. **67**, 147 (1982).

[46] K. Kawasaki, M. C. Yalabik and J. D. Gunton, Phys. Rev. A **17**, 455 (1978).

[47] J. S. Langer and H. Müller-Krumbhaar, Acta Metal. **26**, 1681, 1689, 1697 (1978).

[48] J. S. Langer, Rev. Mod. Phys. **52**, 1 (1980).

[49] K. Kawasaki and T. Ohta, Physica A **118**, 175 (1983).

[50] E. D. Siggia, Phys. Rev. A **20**, 595 (1979).

[51] A. Bray and S. Puri, Phys. Rev. Lett. **67**, 2670 (1991).

[52] H.Toyoki, Phys. Rev. B **45**, 1965 (1992).

[53] C. Yeung and Y. Oono, Phys. Rev. E **49**, 2693 (1994).

[54] Y. Nishiura and D. Ueyama, Physica D **130** , 73 (1999).

[55] J. Carr and R. L. Pego, Pure, Appl. Math. **42**, 523 (1989).

[56] T. Nagai and K. Kawasaki, Physica A **120**, 587 (1983).

[57] T. Nagai and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn. **51**, 3431.

[58] S. P. Das, G. F. Mazenko, S. Ramaswamy and J. Toner, Phys. Rev. Lett. **54**, 118 (1985).

[59] K. Kawasaki, M. Tokuyama and T. Kawakatsu ed. Slow Dynamics in Condensed Matter Physics (AIP, New York, 1992).

[60] e.g. W. Götze, Liquids, Freezing and Glass Transition, edited by J. P. Hansen, D. Levesque and J. Zinn-Justin (North-Holland, Amsterdam, 1991).