

谷口シンポジウム(アンダーソン局在)報告記

東大・物性研 吉 岡 大二郎*

(1981年11月30日受理)

今年の物性理論関係の谷口シンポジウムは、アンダーソン局在に関する理論がテーマであり、11月3日から9日まで兵庫県三田の関西学院千刈セミナーハウスで行なわれた。谷口シンポジウムというのは、谷口財団の資金によって開催されるもので、物性以外にも数学その他の分野で行なわれている。シンポジウムのテーマは、日が当らずに資金に恵まれない分野が選ばれるそうである。シンポジウムのスタイルは、最大20人の内外の参加者が1つの屋根の下で合宿して行なう事になっており、また参加者は若い研究者が主に選ばれる。この結果幸いにも参加者に選ばれると、小じんまりとして、よい雰囲気の中で、物理を楽しみ、外国の優れた学者との交流を楽しむ事ができるわけである。更に、このシンポジウムは、参加費がいらないうところか、交通費、滞在費一切を財団が出してくれるという非常にすばらしいものである。

さて、今回のシンポジウムは以下のようなプログラムで行なわれた。

Wednesday - November 4, 1981

9:00-9:20 Opening Session

Opening Address — R. Kubo

9:20 Survey of localization — Are Non-interacting electrons completely understood?
— D. J. Thouless

11:00 Anderson transition and the non-linear σ -model — F. Wegner

1:30 Self-consistent diagrammatic theory of Anderson localization — P. Wölfle

2:30 Anderson localization in non-linear σ model representation — S. Hikami

3:10 Self-consistent treatment of two-dimensional Anderson localization in the absence of time reversal symmetry — D. Yoshioka

8:00 Breaking of ergodicity in disordered system: the case of spin glass — G. Toulouse

Thursday - November 5, 1981

9:00 Localization in one-dimensional and quasi one-dimensional systems
— A. MacKinnon

*) YOSHIOKA, Daijiro

吉岡大二郎

- 10:00 Numerical study of Anderson localization — P. A. Lee
- 10:55 Numerical study on dc conductivity in two dimensional disordered systems
— S. Yoshino
- 11:35 Extended effective medium theory for resistance — F. Yonezawa
- 1:30 Interplay of disorders and Coulomb interactions in Anderson localized states
— H. Kamimura
- 2:10 Metal-nonmetal transition in liquid alloys and molten alkaline metal-alkaline
halide systems — K. Niizeki

Friday — November 6, 1981

- 9:00 Interaction effects and localization — P. A. Lee
- 10:00 Interaction effects in two dimension — H. Fukuyama
- 11:15 Dielectric and Optical Properties Near the Anderson Transition — Y. Imry
- 1:30 Application of the recent theory of Anderson localization to doped semiconductors — A. Kawabata
- 2:30 Localization in InSb — K. Hoshino
- 3:30 Kondo effects and localization in two dimension — F. J. Ohkawa
- 4:10 Localization vs. superconductivity — S. Maekawa
- 7:30 Electron localization in Landau levels — T. Ando
- 8:30 Localization in a strong magnetic field — D. J. Thouless

Saturday — November 7, 1981 (Chairman H. Fukuyama)

- 9:00 A calculation of two-dimensional Hall conductivity in strong magnetic field limit;
Wigner representation. — Y. Ono
- 9:40 The quantized Hall effect and other macroscopic quantum phenomena — J. Imry
- 10:20 Super Solid and fractionally quantized Hall effect — P. A. Lee
- 11:20–12:00 Discussions — All participants

参加者は原則として講演を行なうので、参加したのは上記の人達と、今回のシンポジウムの世話人である長岡先生、Imry 夫人、秘書の片桐さんの合計 24 人である。

このプログラムを見ると実験家が一人も参加していない事に気が付かれるだろう。これは谷口シンポジウムが物性理論のためのものである事によるのだが、更に、重要な人物が一人欠けている事に気がつく。すなわちアンダーソンが参加していないのである。何故アンダーソンは来なかったか？ 参加者に選ばれなかったからだろうと考える人はいないであろう。それでは

アンダーソンが招待をかけたのか？ これも否である。渡航費、滞在費すべてが出るこんなすばらしい会議に不参加というのはもったいない話で、アンダーソンも参加する予定だったのである。そしてプログラムの第一番目にアンダーソン局在全般に関する講演をするはずであった。ところが残念な事に、彼はシンポジウムの直前に急病で入院、手術という羽目になり、来日できなかったのである。このためプログラムの最初の講演は急拠 Thouless が行なう事になった。

シンポジウムのくわしい内容は、プロシーディングスが Springer から出版される予定であるから、そちらに譲る事にして、ここではプログラムにそって大ざっぱな紹介をする事にしよう。といっても筆者の理解は十分でないので、紹介しきれない部分もある事をお断りしておこう。まずはじめの Thouless の講演は、non-interacting electrons in static disordered potential に関するこれまでの理論の review である。この内で Thouless は Mott の minimum metallic conductivity にふれ、この概念はまちがえであったが、有用な概念であったと述べた。

次の 4 つの講演は主に 2 次元系の強い局在領域 ($E_F \tau \gg 1$ という意味で弱結合系であるが、 $T \rightarrow 0$, $\omega \rightarrow 0$ という意味で強い局在領域) での電子系の振舞いについての理論で、Wegner が non-linear σ -model の説明を行ない、Hikami が、その model による計算結果を述べ、一方 Wölfle は diagram technic による計算を説明し、Yoshioka は、この理論を磁場、spin-orbit 散乱、paramagnetic impurity のある場合に拡張した計算を発表した。non-linear σ -model の結果と、self-consistent diagrammatic theory の結果は normal impurity のみの時は一致するが、paramagnetic impurity のある場合には異った結果を与えた。

Toulouse は、spin-glass ではエルゴード性が破れている事について話した。spin-glass と Anderson 局在には関連があるそうで、Anderson が来れば、その説明が聞けるはずであり、Toulouse もそれをみこして、2 つの system の関連を説明する予定でなかったため、彼の話は spin-glass に限定されていて、Anderson 局在とは一見全く関係のない話であった。

Mackinnon, Lee, Yoshino の話は、Computer simulation による Anderson 局在の研究に関するもので、Mackinnon の方法は、長さ N 、幅 M ($\ll N$) の系を考え、Green 関数法と、Transfer Matrix 法の中間のやり方で N をふやしていき、 N が無限大の系での localization length λ を求め、この λ の M 依存性から局在を議論するもので、2 次元、3 次元でも興味深い結果を得ていた。Lee の方法は Green 関数を計算するもの、Yoshino の方法は Hamiltonian の対角化によるものである。

Yonezawa は effective medium theory を拡張する事により、percolation の問題に対し非常によい結果が得られる事を示した。Kamimura は、Si:P 等 3 次元系での Anderson 局

吉岡大二郎

在の理解に、coulomb 相互作用が重要である事を、impurity まで含めて対角化した Hamiltonian に coulomb 力を入れるという方法で示した。Niizeki は、液体金属における metal-insulator transition の理論を話した。

Lee と Fukuyama は、coulomb 相互作用がある場合の coulomb に関して一次で、 $E_F\tau \gg 1$ の Metallic region での diagram による伝導率の計算結果を示した。Imry は、3次元の Anderson 転移の近傍での伝導率 $\sigma(q, \omega)$ 、誘電率 $\epsilon(q, \omega)$ の振舞いを議論した。Kawabata は mostly crossed diagram による3次元の磁気抵抗の計算と、coulomb 力を取り入れた伝導率の計算を行ない、GaAs, Ge等の実験と比較した。Hoshino は、spin-orbit散乱, coulomb 力を入れた磁気抵抗の計算を行ない、InSb の実験と比較した。Ohkawa は、局在と近藤効果の関係を議論し、localization があっても、近藤効果は変わらず、magnetic impurity では局在はこわれないという結果を示した。Maekawa は、局在と超伝導の関係を議論し、impurity は超伝導の T_c を下げる事、超伝導状態が低温で再び常伝導状態へもどる可能性 (reentrance) がある事を示した。

最後の五つの講演は、今はやりの quantized Hall effect の問題であった。Ando は Computer simulation で Thouless number の size dependence を求めて、Landau Level の中央は局在しないという結果を示した。Thouless は摂動による σ_{xy} の議論をし、更に周期 potential 内での current の様子を議論した。Ono は Wigner 表示を使って σ_{xy} を H^{-1} で展開する方法を示し、第0近似の式を求めた。Imry は quantized Hall effect が AC Josephson 効果又は、fluxoid quantization を引き起こすという事を主張した。

最後の discussion では、主に non-linear σ -model と Anderson 局在の関係についての議論が行なわれた。

以上がシンポジウムの物理的側面の荒っぽい紹介である。今回のシンポジウムでは、その他にいくつかの event があったので、次にそれを紹介しよう。

シンポジウムは、11月3日午後、千刈セミナーハウスに各自集合する事で開始された。この日の最大の事件は長岡先生、片桐さんと筆者が外人参加者の到着を待っている時、長岡先生にかかってきた電話で始まった。その電話は外人の旅行の世話をしている旅行社からのもので Thouless が日本への飛行機を cancel したというものであった。既に Anderson が欠席して、更に Thouless が来ないとなると、プログラムに大きな穴があく事になる。これは大変だといふので、いろいろ電話して調べると、次にわかったことは、Thouless は飛行機には乗っているが、荷物は成田までしか送られない事になっており、Thouless は成田で降りなければならないから、今日中には千刈へ来れないかもしれないという事だった。そこで福山先生、長岡先

生は、成田→大阪の飛行機の予約をしたり、成田のメッセージボードに Thouless へのメッセージを出す事を依頼したり、何とか Thouless が3日中にセミナーハウスへ来れるようにと手配をした。その結果もし Thouless が成田でメッセージを見れば、どうにかなるが、見なければ、彼は来れないだろうという考え得る最善の状況になったのである。

それ以上の進展がないままに、その晩は歓迎パーティーが行なわれた。ビフテキ、魚、野菜、ワイン、ビール等が豪華に並んだパーティーが行なわれているうちに、Thouless が成田で大阪行きの飛行機に乗れたという情報が入り、一同ほっとした。その後タクシーで到着した Thouless に何故はじめに飛行機が cancel されたのか等の質問がなされたが、彼は何も知らず、彼は予定通り旅行をしてここに着いたという事で、結局我々が大騒ぎしたのは無意味だった事が判明し、一件落着したが、世話人の長岡先生、福山先生は、心配で豪華なパーティの食事もおいしくなかったのではないかとと思うと気の毒な事であった。

このシンポジウムに先立って、準備会と称する研究会が9月に箱根で開かれた。その時は、夜、豊富なアルコールがあり、話がはずんだが、その時の話題の1つは、千刈セミナーハウスではアルコールが飲めない恐れがあるという事だった。それは利用規則でアルコールが禁じられているためであったが、いざセミナーハウスに来ると、その心配は杞憂であった事がわかった。3日はパーティー、4日6日は10時からワイン、5日は六甲山、有馬温泉へ遠足で、しゃぶしゃぶと酒、ビール、7日は京都で京料理、8日は谷口財団のレセプションという事で毎日アルコールは十分にあった。さて、4日の夜、皆なでワインを飲んでいると、Imry 氏が若い参加者達をつかまえて、「日本の若い連中は very polite であり、質問をしないが、これはよくない。どんな馬鹿な質問でもした方がよい」といつてきた。very polite であるという点をのぞけば、彼のいい分はまことにもっともで、僕達も積極的に質問するべきだと思っているのであるが、質問はなかなかできないものである。

五日の午後は遠足であった。バスで六甲山頂へ行き、ロープウェーで有馬温泉へ降り、温泉に入り、しゃぶしゃぶを食べるというコースだったが、それまで曇ってはいたが、降ってはいなかった雨が、3時すぎの出発時刻に合わせて降りはじめた。六甲山は紅葉が盛りで、バスの窓からきれいな紅葉が楽しめたが、雨の山頂では歩き回ることもできず、すでに夕刻となり、うす暗くなっていたのは残念だった。有馬温泉では、全員浴衣に着替えて大浴場へ行った。実は、千刈セミナーハウスも、風呂は部屋にはついてなくて、共同浴場と、シャワールームがあるだけであった。外人はこのような風呂に入るのは抵抗があるらしく、前日まで風呂に来た外人は Toulouse 1人だったので、外人が温泉に入るかどうか興味があったが、温泉に行かない人はいなかった。ところが、あいにく温泉は丁度別の500人ぐらいの団体とちかち合ってしまう、

吉岡大二郎

我々日本人でもひるむぐらいの大混雑で、外国からの参加者はさぞかし驚いた事であろう。

ここでシンポジウムの開かれた千刈セミナーハウスを紹介しよう。このセミナーハウスは、三田の駅からタクシーで10分程度の山の中にあり、バスは1日に数本で、交通は不便であるが、人造湖のほとりで、山に囲まれ、自然が美しい所にある。建物は新しく、広く豪華なロビーは、絵画、焼き物等でかざられている。宿泊室はツインベッドルームで、2人分の机とソファーがついており、普通のビジネスホテルよりはるかに快適であり、講演の準備に都合がよかった。セミナー室はいくつかあって、その他に談話室もあり、ソファーにすわり、お茶を飲みながらおしゃべりができた。食事は洋食のみだが、普通のものより高いものにしたそうで、質・量ともに申し分なく、外人の参加者も満足していたようである。このように千刈セミナーハウスは筆者がそれまで持っていたセミナーハウスという言葉のイメージ（筆者は他に八王子のセミナーハウスを知っているだけだが）を超越した場所であり、研究会をやるには非常によい所だと思う。このような立派な施設を作った関西学院には感嘆せざるを得ない。

さて、シンポジウムは、7日の昼で終わり、7日の午後は京都に移動して鴨川をどりの見物、8日は京都観光で、高雄神護寺のもみじ、嵯峨の天竜寺、太秦の広隆寺、夜は谷口財団のレセプションがあつて、9日朝解散という事で終了した。これまで書いてきたように、この谷口シンポジウムは、少人数の合宿形式で行われ、1つ1つの講演も30分～60分というゆったりしたもので、参加者は一切費用の負担がないという、全く理想的なものであった。このようなシンポジウムに出席できた事は非常にすばらしい事だと思う。この谷口シンポジウムが今後も続けられていく事を願い、主催者の谷口財団及び世話人の長岡先生、福山先生に感謝したいと思う。