

日本学士院賞 受賞者

川路 紳治



専攻学科目 物理学

生年月日 昭和七年一月一日
略歴 昭和二八年 三月

北海道大学理学部物理学科卒業

同 三三年 三月 北海道大学大学院理学研究科博士課程修了

同 三三年 四月 学習院大学理学部講師

同 三三年 九月 理学博士

同 三五年 四月 学習院大学理学部助教授

同 三七年二月 米国マサチューセッツ工科大学研究員（昭和四〇年二月まで）

同 四三年 四月 学習院大学理学部教授

平成一四年 四月 学習院大学名誉教授

理学博士川路紳治氏の「二次元電子系の 実験的研究」に対する授賞審査要旨

川路紳治氏は一貫して半導体界面における電気伝導の研究を行い、基礎物理学と半導体技術の基礎の両面にわたって大きな貢献をなした。界面では電子の運動は二次元的になるが、いままで理論上だけでの対象であった二次元電子系を現実のものとし、二次元において新規な現象を発見した。量子ホール効果と負の磁気抵抗効果である。

量子ホール効果… 二次元電子系は、例えば半導体と金属の接合を作ると、その境界面に電子がたまって、面内を電子が動けるようになる。そのときに垂直に磁場をかけておき、面に平行に電流を流すと、両者に垂直方向に電圧が生じる。これをホール効果という。この電流を電圧で割ったものをホール・コンダクタンスというが、川路氏はこの値が、低温で強磁場のときには $\frac{e^2}{h}$ の整数倍になる事を見出した(論文4)。ここに h はプランク定数、 e は電子の電荷である。これを量子ホール効果という。この効果は試料の大きさや材質によらず、普遍常数によってのみホール・コンダクタンスの値

が決まるといふ驚くべきものであった。この結果、第一になにゆえ量子ホール効果が起こるのかという問題を提起し、多くの理論的研究を呼び起こした。また $\frac{e^2}{h}$ を光速度で割ったものは微細構造常数といわれ、基礎物理で重要な量であり基礎物理学の研究者から注目を浴びた。さらに応用面でも、ホール抵抗が試料の詳細によらないという事で量子ホール効果は電気抵抗の標準に適用しており、一九九〇年には世界共通の抵抗標準として量子ホール効果が採用された。

負の磁気抵抗効果… 川路氏はさらに二次元電子系の磁気抵抗を研究した。今、電流の流れている二次元面に垂直に磁場をかけると、電子はまっすぐ走れなくて電流は傾いて流れ、その結果電気抵抗は増大する。これが磁気抵抗効果である。ところが川路氏は、Si-MOSの界面の電子の場合、磁場を垂直にかけると電気抵抗は減少し、しかも磁場が小さいとき、電気抵抗は磁場の平方根に比例して減少するという極めて特異な現象を見いだした(論文3)。これを負の磁気抵抗効果という。さらに川路氏は磁場が界面に垂直でなくても、磁場の界面に垂直な成分のみがこの効果に寄与する事を見だし、この効果が電子のスピンから生ずるものではなく、電子の軌道運動から来る新しい現象である事を示した。これらの結果は負の磁気抵抗効果がなぜ生じるかという問題を提起し、再び多くの理論家の追究するところとなった。その結果この効果はアンダーソン局在より

生ずるものという事が分かった。アンダーソン局在は、電子の波がいくつかの不純物で散乱されて干渉しあい、波が打ち消しあって振幅が減少し、伝搬しないで局在してしまうということで、電気抵抗を大きくする効果を持つ。磁場がかかると電子の波は位相を持つ事になり、新たに付け加わった位相のために干渉効果が壊されて局在しにくくなり、電流が流れやすくなって電気抵抗が減少するという

のが負の磁気抵抗効果の説明である。したがって負の磁気抵抗効果が観測されたという事は、アンダーソン局在が起こっていたという証拠であり、川路氏の実験はアンダーソン局在の存在を証明した事になる。アンダーソン局在は一九八〇年代に盛んに研究されたが、川路氏のこの実験はその核心を突いたものであったと言いうことが出来る。

量子ホール効果と二次元素のアンダーソン局在は、一九八〇年代の固体物理における発見のうちで五本の指にはいるものであり、世界的に見てもこれらの分野で先鞭をつけたという点で、川路氏の固体物理学の分野への寄与は非常に大きいといえる。

以上のように、川路氏の業績自身は直接的には純粋物理学におけるものであるが、現在の電子技術はほとんどすべてが半導体界面上の二次元電子系を利用しており、量子ホール効果やアンダーソン局在の研究は、メソスコピック系やナノテクノロジーへと発展してい

った。その意味で、川路氏の研究は、電子技術という大河の水源の泉の一つにも例えられるものであり、その影響の大きさは、現代の産業の大部分に及ぶといっても過言ではない。

主要な論文

1. A. Kobayashi, Z. Odo, S. Kawaji, H. Arata and K. Sugiyama, Impurity conduction of cleaned germanium surfaces at low temperatures: *J. Phys. Chem. Solids* 14 (1960) 37.
2. S. Kawaji, H. R. Huff and H. C. Gatos, Field effect on magnetoresistance of n-type indium antimonide: *Surf. Sci.* 3 (1965) 234.
3. Y. Kawaguchi, H. Kitahara and S. Kawaji, Negative magnetoresistance in a two-dimensional impurity band in cesiated p-Si (111) surface inversion layers: *Proceedings of Second International Conference on the Electronic Properties of Two-Dimensional Systems*, Berchtesgaden, Germany, 19-22 Sept. 1977 (*Surf. Sci.* 73 (1978) 520).
4. S. Kawaji and J. Wakabayashi, Temperature dependence of transverse and hall conductivities of silicon MOS inversion layers under strong magnetic fields: *Physics in High Magnetic Fields*, *Proceedings of the Oji International Seminar*, Hakone, Japan, 10-13 Sept. 1980, Springer-Verlag 1981, p. 284.