

甘利俊一先生の2012年度文化功労者表彰に寄せて

長岡浩司

電気通信大学大学院情報システム学研究科

甘利俊一先生（東京大学名誉教授・理化学研究所脳科学総合研究センター特別顧問）が平成24年度の文化功労者に選ばれた。先生の情報幾何学および神経回路網理論に関する先駆的かつ現在まで続く多産な業績については世界に広く知られている。当然とも言える受賞に対し心よりお祝い申し上げるとともに、数理工学という、数学や物理学などに比べて新興の分野からの初めての文化功労者の誕生について、同じ分野を志す者の一人としてのささやかな喜びも表明させていただきたい。

私が先生から受けた学恩は計り知れないほど大きい。しかし、実は私が先生のもとで正式な指導を受けた期間は学部4年生の数ヶ月に過ぎない。その後も先生と職場を共にするようなことはなかったため、先生を身近に見てきたようなことは書けない。また、神経回路網理論については学生時代に先生の教科書を読んで勉強した程度の知識しかなく、その分野での先生の業績について論じることもできない。そういうわけで、以下では先生の創始した情報幾何学と、情報幾何学を通して私が受けた薫陶に限って書かせていただく。

1979年の秋、東京大学工学部計数工学科の4年生だった私は、学科の先生方が掲げた卒業論テーマ一覧の中から甘利先生の「時系列の情報幾何」というテーマを選んだ。後述のように、今日的な情報幾何はまさにこの頃に誕生したのであるが、情報幾何という言葉自体はそれ以前からあり、我々学生にもなじみがあった。

情報幾何は、先生が若い頃から抱いていた一種の研究構想だった。情報科学講座（共立出版）付録の月報 No.54（1987年）に先生が書かれた「情報幾何学の起源」によると、情報幾何は「私の永年の夢であった」とあり、最初に興味を持ったきっかけは、「今から25年以上前」（ $1987-25=1862$ ）の大学院時代に参加したセミナーで、森口繁一先生から後述のフィッシャー計量についての研究を示唆されたことにあることである。また、森口先生と並ぶ計数工学科の始祖の一人であり、先生の指導教員でもあった近藤一夫先生（お二人とも私は学科図書館に並ぶ名誉教授の写真でしかお目にかかっていない）が提唱した「応用幾何学」という思想の影響もあったのだろうと推察するが、詳しいことは分からない。こうして先生が構想した「前期情報幾何」については、御著書「情報の幾何学的理論」（共立出版、1968）や「情報理論」（ダイヤモンド社、1970）でその一端に触れる事ができる。当時の学生達もこれらの本を通して情報幾何が先生の専門の一つであることは知っていたが、どちらかと言うと過去の仕事というイメージがあり、神経回路の方がずっと華々しく目に映じていた。しかし私は、情報幾何の方に何となく強い魅力を感じたので

ある。

当時、先生は大著「神経回路網の数理」(産業図書, 1978)を上梓し、研究の軸足を神経回路から情報幾何に大きくシフトしようとしている時期にあった。そのきっかけとなったのは、統計学者 B. Efron の 1975 年の論文である。

確率分布を要素とする多様体(統計多様体)上にはフィッシャー情報行列という重要な量が定義されるが、これが一つのリーマン計量(今日ではフィッシャー計量と呼ばれる)を定めることが 1945 年の C.R. Rao の論文によって指摘され、それ以来、統計多様体のリーマン幾何学が研究者の注目を集めるところとなった。先生の前期情報幾何もそこに端を発することは前に述べた通りである。ところが、このリーマン構造だけを追求しても、統計学におもしろい結果は中々出てこなかった。統計学(特に統計的推定の 1 次漸近理論)では、各点での接空間の内積自体は重要な役割を果たすが、異なる点における内積どうしとの関係、すなわち接続が意味を持ってくるような問題が見つからないのである。もちろん、リーマン計量から接続係数を計算したり、測地線や測地距離を求めたり、曲率テンソルを計算したり、ということ是可以する。しかし、そこで終わってしまうのだ。先生もその辺りに物足りなさを感じ、今ひとつのめり込めなかったのではなかろうか。

1975 年の論文の中で、Efron は統計多様体上にある種の埋め込み曲率を導入し、これが統計的推定の 2 次漸近理論において重要な役割を果たすことを見いだした。そして統計学者 A.P. Dawid は、この曲率の背後に、非計量的なあるアフィン接続が想定されていることを指摘した。リーマン計量と非計量的な接続を同時に考えることで統計多様体上に豊かな幾何学が展開できる。先生は情報幾何学建設の機が熟したことを知る。

1979 年の秋に話を戻す。手元のメモを見ると、10 月末に先生と最初の面談をしている。そのときまでに情報幾何を少し予習しておかなくてはと前掲の「情報の幾何学的理論」を読み始めていたのだが、これがなかなか難しく勉強が進まない。面談の際にそのようなことを申し上げたら、あんなのは読む必要はない、と言われて拍子抜けした記憶がある。そのときは、AIC と時系列モデル(確率過程)に関する情報幾何的考察という卒論テーマの大ざっぱなストーリーを説明していただき、まずは AIC と時系列モデルについて勉強するよにと文献をいくつか教えていただいた。1 月に入ってから、先生が執筆中の情報幾何に関する英文論文原稿と、AIC および時系列モデルに関する先生の手書きメモをいただいた。先生が私に期待した事は、手書きメモで示された先生のアイデアの妥当性を計算機シミュレーションで検証して卒論にまとめよ、ということだったと推察するが、私はその期待には全く応えることができなかった。プログラミングや数値計算が大の苦手だったこともあるが、いただいた文献の一つ一つが手強く、その勉強だけで手一杯だったのである。

そのとき先生から渡された論文原稿は "Differential geometry of curved exponential

family" というものである。この論文の中で先生は、 α -接続を導入し、その基本性質を論じ、曲指数型分布族における推定の2次漸近理論を完成させた。情報幾何の誕生を世に告げる大論文である。論文誌 *Annals of Statistics* に掲載されたのは1982年。私は誰よりも早く、しかも何の先入観も持たない状態でこの論文を読むことができた。何とも幸運な情報幾何との出会いだった。

確か、毎週一回は先生のところ顔を出して進捗報告する決まりになっていたように思うが、記憶は朧げである。とにかく私の勉強が遅々として進まないで、先生も指導のしようがなかったことだろう。当時、私から先生にした質問を二つ思い出す。一つは、フィッシャー情報行列が正定値になるのはどうしてですか、というもので、当時の私はそんなことも分からなかったのだ。もう一つは、その後、私自身もいろいろな人（特に数学者）から尋ねられることになった質問である。 α -接続は実数パラメータ α を持ったアフィン接続の1-パラメータ族であり、 $\alpha=0$ の場合はフィッシャー計量のリーマン接続（Levi-Civita 接続）になっている。論文を最後まで読めば分かったはずだが、 α -接続の定義まで読み進んだところで、定義できるのは分かるがわざわざ非計量的な接続を考える意味があるのだろうか、という疑問が沸き、先生に質問した。即座に、非計量的な接続こそが大切なんだ、というお答えが返って来た。

そうこうしているうちに締切がやってきた。先生のアイディアを「批判的に」検討した考察を急ごしらえででっちあげ、とにもかくにも卒論は提出された。先生の感想は、考察には異論もあるがまあこれはこれでいいでしょう、というものだった。

1980年4月に修士課程に進学した。計数工学専攻の慣習に従い、修士では卒論と別の研究室に配属になったが、そこも基本的に放任主義で、どんな研究をしてもよいと言われていた。

M1の最初の学期に、甘利先生の大学院の授業を受講した。先生の講義と言え、聴いている最中は実に気持ちよく、本質を理解できたような気分になるのだが、あとでその内容を自分で再構成しようとしても手も足も出ない、という名人芸で有名である。しかし、このときの授業の、少なくとも以下に述べる部分は丁寧に板書され、非常によく理解できた。それは、確率密度関数全体の成す空間において、 α -divergence に関する射影が α -測地線による直交条件で表されるという定理で、上述の "Differential geometry of ..." の論文誌掲載版では Appendix として載っている内容である。ただし、私が卒論時に勉強した原稿には載っていなかった。おそらく出来立てのほやほやの結果を授業で紹介して下さったのだと思う。この定理とそこで示された微分方程式を用いた証明は、私には大変興味深く、また一種謎めいて感じられた。

この結果を含めて、情報幾何の基礎についていろいろ考えを巡らしているうちに、少しずつ新しいことが見えてきた。ある程度結果がまとまってきた M1の秋だか冬だかに、先

生の研究室のセミナーで話をする機会を与えていただいた。話し終えたときに、非常におもしろい、と褒めて下さった。先生が本気でおもしろいと言って下さっているのが分かり、とても嬉しかったことを思い出す。

当時、先生の仕事は「統計幾何」と呼ばれることが多かった。そこには、それはあくまでも統計学における幾何学的手法であって、情報幾何という広過ぎる呼称はそぐわないのではないかという、一種の慎重さを求める雰囲気があったように思う。また、統計学に幾何学を導入する意義についても、単なる「解釈」に過ぎないのではないかなどのさまざまな議論があった。私に関心を持った問題は、その幾何学のさらに基礎に関するもので、応用上の意義などは全く不明だった。そのため、学科内でも先生以外には全く興味を示してもらえなかった。そういう中で、先生の「おもしろい」の一言とそれを発したときの笑顔がいかに私を勇気づけてくれたことか。

先生に質問したいことや聞いていただきたいことができる、ちよくちよく先生の研究室を訪ねた。そういうとき、自室にいらっしゃることは稀で、大抵は学生部屋か、そうでなければ同じ建物の地下にあった卓球場にいらした。学生部屋では誰かと囲碁を打っているか、当時はやりだしたテレビゲームに熱中されていることが多かった。本当にいつ仕事をされているのか不思議だった。そういうわけで、先生を捕まえるのもなかなか大変だった。

修士課程の2年間、私は自分の研究と進路についてあれこれ迷ったり悩んだりしつつも情報幾何の基礎について考え続け、双対接続や α -表現の理論としてその全体像を修論にまとめた。例によって修論が完成したのは締切りぎりぎりとなり、事務所に提出した後にコピーを持って先生のところに伺った。ページをめくりながら一通り説明し終わったとき、先生は輝くような表情と独特の抑揚で「おもしろいじゃない」と言って下さった。この一言が、その後のかなりの期間、自分を支えてくれたことは間違いない。

博士課程では大阪大学に移り、情報幾何からは遠ざかることになった。この期間に、先生は私の修論の内容をもとに英文の共著論文原稿を執筆して下さい、しかも私を第一著者として下さった。これは本当にすごいことで、先生には感謝してもしきれない。残念ながら、この論文は当時の学問分野のどこにも当てはまらなかったせいか、先生が何回か国際的な論文誌に送って下さったものの、いずれも reject されてしまった。しかしその内容は、先生の著書や論文を通して広く認知されることになった。現在、論文自体は計数工学科のテクニカルレポートとしてネット上で閲覧できる。

その後、停まることを知らない先生の快進撃が続いた。公文雅之氏をはじめとする指導学生との共同研究を含め、推定や検定のさまざまな問題に幾何学的手法が適用されて次々に成果をあげた。それらの集大成として、1985年には有名な *Differential-geometrical methods in statistics* が Springer 社から出版された。同時期にニューラルネットワーク

の大ブームが巻き起こり、そちらの分野でも八面六臂の活躍をされた。当時、突然忙しくなって情報幾何を研究する時間がとれないというようなことをこぼしておられたが、ある時期からは、情報幾何とニューラルネットの双方にまたがる研究も多数発表されている。それは、情報幾何が「統計幾何」からその対象を大きく広げて行く時代の流れとも重なった。

私自身は、就職して一段落した 1987 年頃から量子推定理論や量子情報理論に参入し、その関係で情報幾何に新たな興味を持つようになった。古典的な確率論や統計学の諸問題の量子力学版を考えると、古典論での情報幾何構造が本当によくできていることにあらためて驚きを感じると同時に、「量子情報幾何」に関するさまざまな夢が湧いてくる。そんな折りに先生から岩波講座・応用数学の一分冊として「情報幾何の方法」を共著で書かないかというありがたいお誘いを受けた。後にこの本の英訳増補版が AMS & OUP から出版された。これらの執筆を通して、私の情報幾何への理解と愛情もずいぶん深まったと思う。

甘利研が優秀な数理工学研究者を数えきれないほど輩出して来たことはよく知られているが、実は量子推定理論や量子情報理論の我が国での興隆を語る上でも甘利研の果たした役割を欠かすことはできない。1990 年代からこの分野に参入して今日まで活躍を続けている藤原彰夫、松本啓史、林正人、小川朋宏という俊秀達は皆、学生または助手として計数あるいは理研で甘利研に在籍した経歴を持つ。先生自身は「量子」には手を出さなかったが、先生の包容力と数理工学全般に関する広く深い学識がこういう人材を育てるのである。

先生は並外れた頭のよさと活力、快活さ、そして気骨を併せ持った人である。若い頃はセミナーなどですごく厳しかったというような話を聞いたことがあるが、私がお会いした頃にはいつも上機嫌で温かな印象が強かった。そしてあの独特の破顔一笑。年を重ねるにつれて先生はどんどんチャーミングになり、学会では先生の回りに人が絶えることがない。研究が好きで好きでたまらない、子供のような無邪気さが人を引きつけるのである。

昨年 3 月、奈良女子大で Tsallis 統計力学と情報幾何の相互交流を企図した国際学会が開かれた。私も参加させてもらい、久々に「純粋」情報幾何学的な結果について発表した。これまでも先生のいらっしゃる学会で情報幾何の話をしたことは何度もあるが、最近は量子がらみの話が多く、先生の感想は大抵「難しい」だった。しかし今回は双対平坦空間に関するある一般的定理と、指数型分布族や混合型分布族のような通常の統計多様体に適用した場合の話で、先生にも楽しんでいただけたようだ。コーヒブレイクのとき先生が近づいて来て、例の破顔一笑で「役に立つかどうかは分からないけど、おもしろい」と言って下さった。コレなんだよなあ。私の人生で何度となく励まされ、自信を与えてくれたコレである。

先生、受賞おめでとうございます。そして、ありがとうございます。