

佐藤文隆氏ロングインタビュー

第5回：富松・佐藤解とソルベール会議



高橋 慶太郎

〈熊本大学大学院先端科学研究部 〒860-8555 熊本県熊本市中央区黒髪 2-39-1〉

e-mail: keitaro@kumamoto-u.ac.jp

佐藤文隆氏のインタビューの第5回です。佐藤氏は1971年に京都大学天体核研究室から基礎物理学研究所に助教授として移ります。この頃富松彰氏と始めた一般相対論の研究で、定常で軸対称な厳密解、いわゆる富松・佐藤解を発見するという歴史に残る研究成果をあげました。天体物理学の分野でブラックホールが注目される中、この解の重要性は即座に認識され、またソリトンとの類似性から数理論物理学にも大きな影響を与えます。そして1973年にはソルベール会議に招待され、日本人として4人目の参加者となりました。今回は富松・佐藤解とソルベール会議にフォーカスして詳しくお話を伺います。

●研究の転機

高橋：前は主に助手の時代で、研究としてはスーパーマッシブスターとかビッグバン元素合成とかをやりつつ、林さんから降ってくるいろんな雑用というか、助教授がやるようなことをやっていたというお話でしたよね。今回は助教授時代ということでよろしくお願いします。特に一般相対論の富松・佐藤解（TS解）について詳しく聞きたいと思います。

佐藤：1960年代終わりに松田（卓也）君とか武田（英徳）君と、ビッグバンの元素合成とか晴れ上がりとかね、それから水素分子合成、あのへん一連やって、サプルメント（Progress of Theoretical Physics Supplement）にまとめるというのが何となく目標みたいになってた。で、ある程度まとめて厚さのあるのを佐藤・松田・武田っていうので出したんですね。それが1971年です。で、1970年に松田君が京大の工学部の航空の方になんかすぐ就職したんですよ。学位と同時にね、松田君はあの頃珍しかったシミュレーションを始めてたか

ら、そういうのができるってだけでもう引っ張りだこみたい。だから急にいなくなって。で、武田君もちょっと遅れて助手になったのかな。2人ともスッと僕の周りからいなくなった。それと僕の中では1つの研究上の転機で、サプルメントもまとまったし基研の研究会のあたりでは顔も売れたし、ここでまあもうちょっとなんか大きな問題をやってみたいと思ったんですね。食うや食わずじゃなくなって。

で、考えた柱が、一般相対論と素粒子宇宙論。一般相対論というのは球対称だと簡単なんだけど、そうでない世界を覗いてみると、途端に難しくなると。でなんか長い歴史がある。だからそれを究めるといって、これが1つですね。それとブラックホール問題がものすごく流行りになって、球対称でない場合にも問題が移行していった。

それから僕、1970年に講師になったんですわ。変なポジションなんだけどね。要するにこの前お話しした天体核研究室の助教授問題とかで講義をしたりする人がいないわけですよ。

高橋: 講師は講義をするわけですね。

佐藤: そのときに素粒子の学生も含めてM1用に一般相対論の講義を始めようと林さんが提案したんですわ、それまでなかったんだけどね。そのことと、林・早川編っていうので岩波でこんな分厚い『宇宙物理学』(岩波書店・現代物理学の基礎 11・1973年) って本が出たのは1973年やと思うけど、その分担執筆の話がきたのがまあ1970年くらいかな(新装版が2012年に発売)。そういうのもあって球対称でないような一般相対論の深い勉強をしたんですわ。だからあの本には、それまでの邦書に書いてないようなことがいっぱい書いてありますよね。まあ講義用には難しすぎるみたいな話も結構あって、その辺で仕込んだネタを後で佐藤・小玉の『一般相対性理論』(岩波書店・現代物理学叢書・2000年)に入れた。小玉君がだいふ書いたんだけど。

高橋: M1の講義っていうのは輪講とかじゃなくて、本当に講義なんですわ。

佐藤: うん、講義。だからそこまではあんまり難しいのはしなかったけど、数学的に難しいようなこともいろいろ勉強した。近くに益川(敏英)君がおって、彼に群論の話聞いたりね。彼に電車の中で言ったら、彼がタイプ用紙2,3枚に書いて、丁寧に解き方を教えてくれて。これは一般相対論に出てくるピアンキ分類の話なんだけど、そのときそういうとにかく難しいところまで勉強したんだわ。それは講義には複雑すぎたし、自分の仕事には使うには数学的すぎたんだけど、後で小玉・佐藤で岩波の教科書『一般相対性理論』書くときに役立って無駄にはならなかった。だから邦文の教科書では書いてないようなアイテムがいっぱい並んでるのはそのへんから(笑)。

それでね、松田・武田が急にいなくなって、すぐやってきたのが原(哲也)君で、富松(彰)君の1級上なんだな。後で京産大の教授になる。M2くらいで僕のところに來たんですわ。相対論やりたいと。それで彼がドクターになったあたり

から僕と一緒にあまり普通の日本語の教科書にはまだ書いてなかったことを勉強し始めたんですよ。ワイルメトリックとかね。だから彼の学位論文はこのワイルメトリックの中でのテストパーティクルの運動なんです。そのあたりが僕が相対論の独自のテーマで初めて指導したやつやな。

高橋: ワイルメトリックというのは静的で軸対称な解ですね。

佐藤: うん、原君と一般相対論をやって、これが第1の柱。それで次の年、M1くらいですぐにやってきたのが富松君。それで第2の柱は素粒子宇宙論だから、富松君にはそっちの素粒子がらみをやり出したんですわ。だから富松・佐藤という論文の最初は相対論じゃない。最初は素粒子宇宙論の課題で、物質反物質の問題ですよ。当時はまだ今の素粒子の標準理論がみえてないときですから、いろんなごちゃごちゃした感じやったね、素粒子論。その1つの垂流みたいなのに乗っかってやった仕事なんですよ。今の人は聞いてもわからん。みんな潰れた理論や。とにかく富松君の修論はそれで、2人で富松・佐藤って結構長い論文あるんですわ。そのゲテモノ素粒子論を使った統計力学みたいな。ハドロンだから自由気体ではないでしょ、まるっきりね。宇宙初期は密度も高いんだから。そういう素粒子相互作用してる不完全気体の状態方程式みたいなのを導き出すというのを富松君と一緒にやった。結局長い論文書いたけども、小1年やって僕も素粒子のワインバーグ・サラム理論とか聞くようにもなってたし、根拠にしていたその素粒子の話が何となくゲテモノみたいに見えてきたのもあって、これは早いこと手を引いた方がいいなあという感じになって(笑)。それで富松君とやる話も相対論に変えたんですわ。「富松君、それ止めや」とか言って(笑)。それが彼がM2の後半でしょうなあ。1971年やと思う。富松・佐藤解というのの出発点が、1971年の秋とかから。後で富松・佐藤解って名前ついて有名になっちゃったけど、まず原君とワイルメトリッ

クを勉強してたから、本当は原君も初め入ってたんだけどね。

高橋: そうなんですか。

佐藤: うん、仲間だったんです。だけどその頃はそんな厳密解出すっていうのは目的にしませんでしたから。

●富松・佐藤解

高橋: それで富松さんと厳密解を探すことになったわけですか？

佐藤: うん、だからワイル解というのは回転のない解で、それで perturbation (摂動) で回転を入れるという。まあ perturbation なんか力に任せれば必ずできるわけやから (笑)。そういう課題を富松君に与えたんですね。「ワイルメトリックは原君から聞いて」みたいな感じで。

で、軸対称で時間的に変化しないというので2つ対称性があるからこれは2次元の問題なんです。2次元の偏微分方程式。ただその連立偏微分方程式なんてのは解けへんのか、普通は、それで、そういう対称性2つ入れた場合のアインシュタイン方程式を非常にコンパクトな1つの複素関数の非線形微分方程式にまとめたエルンスト方程式っていうのが出されてた。未知の実関数がA、Bと2つあるのを $A+iB$ とやって、1つの複素関数にするんです。そうすると2次元の複素関数の非線形微分方程式になる。これがエルンスト方程式。でも全然流行ってなかった。

高橋: エルンスト方程式はいつ頃出たんですか？

佐藤: その3、4年前。そのエルンスト方程式とワイルメトリックというのを結びつけて、富松・佐藤解になるわけね。それで実際、富松・佐藤解が出てからエルンスト方程式の値打ちが上がって、彼がもっといい大学に行くプロモーションの推薦状を僕は書かされて、彼、ええとこに行った。エルンストっていう僕より年取ってる売れない子が (笑)、その方程式を出してたんだわ。

高橋: それでワイル解から摂動的に回転を入れて

いったわけですね。

佐藤: 回転のパラメータについて1乗、2乗と展開して、エルンスト方程式使ってワイル解に摂動解を足す。というのを富松君とやり出したわけやな。「こういうのは時間があつたら必ずできるから」言うて、3乗くらいまでやったら論文にできるやろうみたいなので。まあそんな感じで1971年の寒くなるあたりから始めて、年が明けて1972年の、そうねえあれ、新学期あたりくらいに一番簡単な厳密解が何となくみえてきたんです。もともとは摂動解なんだけども、厳密解を回転パラメータで展開したみたいな形が見えてきたんですよ。それで全く目の子で解の形を予想して、係数を変数にして当てはめてみてどうなるかみたいな。最初の解は全くそんなんでやった。で、1972年の夏くらいには、だから1年くらいで最初の厳密解が出たのかな。

高橋: 最初は摂動で解いて、そこから厳密解の形を予想して、方程式に代入して、それが確かに解になっていると。

佐藤: 代入して0になると正解だとわかるわけ。

高橋: 最初は厳密解まで行くとは思ってなかったですか？

佐藤: 思わなかった。それでワイル解っていうのはもともと δ っていうパラメータを含んでるんです。

高橋: δ は形のゆがみを表しているようなパラメータですね。

佐藤: そうです。 $\delta=1$ がシュバルツシルト解で、それを回転させるとカー解。 $\delta=2$ がその次に難しいんで、1972年の秋くらいまでに見つけたのが $\delta=2$ を回転させた場合。カー解の計量は変数の1次式なんですけど、 $\delta=2$ の場合は2次式なんです。だから $\delta=3$ の場合は3次式みたいに、そっからは早かったですね。 $\delta=5$ くらいまで実際に解いてみせたわけやけど、とにかく $\delta=2$ のを1972年の9月に投稿して11月に出たんですよ。で、僕も大発見や思ったんですよ、直感的に。こ

れは売れると思ったから、あの当時一番目立つのはPhysical Review Lettersですね。普通はプログレスなんだけど、ドルが高いときに投稿料も高かったです。それで短くして、Physical Review Lettersにサーっと出たんだよ [1]。ほとんどレフェリーコメントなしで載った。あの当時では非常に早かった。そのときは僕基研だった。1971年の秋から基研に移って。

高橋: 始めたのはまだ天体核にいる頃で、出版の頃には基研に移ってたんですね。

佐藤: うん。で、その論文にはごたごたしたイントロダクションも何もなく、ほとんど短い数式が書いてあるみたいな論文なんだけど、2ページくらいですね。

高橋: すごく短いですね。

佐藤: 短いすよ。それで読んだ人から反応がすぐきてね。手紙もきたし、なんかプレプリント書いたみたいなのが3ヵ月くらいで、そうねえ、3, 4ヵ所からきたかな。そこで初めて“Tomimatsu-Sato metric” っていう名前が論文表題に登場するわけですね。みんなそういう表題にしてるわけで、まあすごいなあって2人で言ってたけど、写真1)。まあそんな感じやったね。それでとにかくカー解の次の厳密解みたいなのが見つかった。少なくとも数学的なね。



写真1 富松氏(左)と佐藤氏(右), 1975年ケンブリッジで(佐藤氏提供)。

高橋: もともののモチベーションというのは、やっぱりその天体物理の方でブラックホールがあって、でも球対称ではダメでってということなんですか？

佐藤: そうです。ブラックホールがもう一番流行りのあたりですよ。ただ、なんていうかなあ、一般的にほんまにカー解しかないのかと。1970年代の後半くらいでだんだんはっきりしていくんだけど、ブラックホールのuniqueness theorem (唯一性定理) というので、まあどんな重力崩壊であっても、ブラックホールになったらカー解になるんだと。ジョン・ホイーラーが「ブラックホールは毛が3本」というのをPhysics Todayに書いて、漏斗型のブラックホールの非常にいい挿絵があって。

高橋: 毛が3本というのはブラックホールを特徴づける性質が質量と角運動量と電荷の3つしかないということですよ。

佐藤: うん、ブラックホールにテレビとか人間とかいろんなものを放り込んでも、最終的には質量と角運動量とチャージしか情報が残らないみたいな、全部情報が失われて普遍的なシンプルなものになるという仮説やな。それを非常にうまくこう挿絵で書いてね。ブラックホールはカー解に限られると。

そのカー解っていうのは最初の論文みると、何にもそんな動機ないわけね。もっと先の時代やから。微分方程式を解くときよくあるでしょ、一般には解けないような微分方程式でもこう仮定するところまで簡単になってくる。解ける場合を解いてるんですよ、何の動機もなく。だからその解が偶然uniqueness theoremのunique solutionだっというのが信じられん感じやったね。

高橋: カー解は1963年に発表されていて、まだQSOとかで盛り上がる前ですよ。

佐藤: うん、その論文が出たころはまだブラックホール問題もあんまり流行ってなかったね。だからそれから10年近く経って、そのuniqueness

theoremも嘘か本当かというのが、ホットな話題のときにカー解のその次の回転解を見つけた、というので話題になったんでしょうね。今はuniquenessのある種の証明はあるといわれてるんだけど、そのころはまだないころやから。

それからちょっと遅れてその時空構造を調べてみると、裸の特異点があるから、これは現実的でないとかって、まあそれでアストロフィジカルに重要なものではないんじゃないかというふうにはなるわけだけでも、だからTS解って70年代後半からはむしろその数理物理の話題になっていくやね。ソリトンとか、まあ今もそうでしょ。

高橋: ワイル解にもともと裸の特異点があるわけですよね? それを回転させてもやっぱり特異点はあるだろうっていうのは予測してたわけですか?

佐藤: うん、それで実際あったわけや。リング状の特異点。だけど最初の論文書くときはそんなこと調べてないです。だからその厳密解が物理的にどうか、実現するかっていうのはその後わーっと出るわけ。

高橋: いろんな反響というのは、現実の宇宙にはそういうのは存在しないだろうとかそういうことなんですか?

佐藤: うん、だけど初めから二手ありました。アストロフィジカルにこれは現実的な解ではないということと、それとは全然無関係にとにかく非線形微分方程式を解いたんだということと。最初から2つあったですね。アストロフィジカルな議論で割合すぐに論文をPhysical Review Lettersに出したのが、まあ後で偉くなるギボンズ。彼、あのときホーキングのグループやった、ホーキングと同じ世代だけでも。だからその論文はホーキングに謝辞を書いてるんです。そういうわけで瞬時にそのへんの連中に知られていったってことや。ring singularityがあるから現実的でない、解の性質をちょっと議論したのはギボンズの論文が一番最初なんじゃないかな。で、アメリカの数

理物理やってるような人は、まあそんなことはどうでもよくて数理物理的に面白いわけで。そういうのが何人かおったですね。そっちの方が多かったな。数理物理なんてのはなかなか物理の中で出世できない地味な分野で、だから後に何人か僕、プロモーションしてあげて(笑)。

高橋: 国内での反応はどうだったんですか?

佐藤: 国内ではね、あのうやっぱり厳密解というのがインパクトあったんじゃないかな。だってコンパクトに書けてる解ってあんまりないんですよ。なんかパラメーターいっぱい含んでるけどasymptoticにフラットになってそういう意味では非常にちゃんと孤立しててという。それでちゃんと代数的に書けてるわけね。後でわかったんだけど、代数で書けてるっていうのは、ソリトン問題とかでは重要なんだな。まあそういうので話題になった。すぐに基研の談話会とかでしゃべったりなんかしたから。

高橋: そもそも日本で相対論そのものの研究をしてるっていうのはあんまりなかったですね。

佐藤: ない。特に素粒子の方からの連中はformulationだけ、内山(龍雄)さんみたいなね。後はみんな球対称しか扱ったことない。

高橋: 林さんは何か言ってなかったですか?

佐藤: 林さんには特に言われたことなかったなあ。だから1972年の最初の論文出たときは、もう基研ですわ。で、1973年にperturbationの長い論文をプロGRESSに出して、 $\delta=5$ くらいまでの解を書いたんだけどね[2]。

●ソルベール会議

佐藤: それで1973年にソルベール会議があって招待されるんです。僕への招待状が朝永(振一郎)先生のところへきて、朝永先生がそれを僕のところへ送ってくれて、それをあの頃基研の所長だった牧(二郎)さんに見せたら、牧さんが湯川秀樹に言うて記者会見とかなった。

高橋: へえ、それはすごいですね。

佐藤: それで一躍有名になったんやな. それ
1973年の初夏やな.

高橋: ソルベー会議はとても歴史的な
というか, すごく権威のある会議
ですよ.

佐藤: いやそらあ開会式にベルギー
王族が全部出てきてみたいな, ノー
ベル賞の授賞式みたいなのやつ
ですよ. ソルベーっていう人は
ノーベルみたいな人やな. ケミカル
インダストリーで大もうけした,
まあ半分学者の企業家ね. ノー
ベルと同世代.

高橋: ソルベー法っていう化学反
応でよく知られてますね. 炭酸ナ
トリウムを作るとかいう.

佐藤: で, ノーベルは賞を作って,
ソルベーは世界の英知を集めて
会議をやるみたいなの. それで
始めたのがソルベー会議. 1970
年代くらいまで非常に価値があ
ったんじゃない? 勝手に海外旅行
できない時代だったから. 日本
でも勝手に海外旅行とかできる
ようになるのは1970年代後半
やと思うけど. 飛行機の便が19
70年代で10倍かなんかに増
える. だから何年かに一遍, ある
テーマでエスタブリッシュした
学者を集めるそういう会議はも
のすごく意味を持ってた. 特に
有名なのは, 量子力学ができた
ときね. 1927年. ボーア・ア
インシュタイン論争とかいうの
はそのソルベー会議が舞台.

高橋: そうですよ. エスタブリッ
シュした人たちがあつた大きな
問題について話し合うっていう.

佐藤: うん. だからテーマが会
ごとに違って. 一流ホテルに
みんな夫婦できて.

高橋: 会議の場所はどこな
んですか?

佐藤: ブリュッセル. あとで
ノーベル賞もらうあのブリ
ゴジンとかもブリュッセル
ですよ. それでブリゴジンの
家に御招待とか, とにかく
あれやったな. すっごい贅
沢な.

高橋: じゃあそれに参加する
ような人はだいたいシニア
ですか?

佐藤: いや, そうでもない
です.

高橋: 若い人もいたんです
か?

佐藤: うん, だって量子力学
が完成したという1927年の
ソルベー会議なんて, 参加
者が写ってる写真がある
けど, もうそらディラック
はまだ25歳やみたいなの.
真ん中に座って会議主
催したのは, 70何歳の
ローレンツとかでしょ.

高橋: あ〜, 量子力学を作
ったのは若い人たちで
すよね.

佐藤: うん. それでね, 僕
オークションに出したら
売れるんじゃないかとい
うのが, 朝永振一郎が
万年筆で僕に書いた手紙
を持ってるんだけど. 当
時は日本で湯川と朝永し
かノーベル賞もらって
ないような時代です
から, とにかく朝永
振一郎のところに僕
への招待状を送って
くる. まあ僕がどん
な男かわからんから,
一応安全な人に送
って, まともな人なら
送ってくれみたい
なの. それで朝永
振一郎がその招待
状に彼の手紙を同
封してきて, 日本
では湯川と坂田
(昌一)と自分
とが出たことある
けど, そういう
名誉な会議や
からぜひ出て
くださいって.

高橋: それはやっぱり富松・
佐藤解について話
してくれという
感じなんですか?

佐藤: うんそうそう. まあ
あつちにおる間に
ペンローズがしゃべ
りにきたりして,
なんかペンロー
ズが推薦した
ような感じ
やったね.

高橋: そのときのテーマは
そういう宇宙物
理学だったわけ
ですか.

佐藤: 宇宙物理学と一般相
対論だったん
じゃないかな. もう
有名な研究者
がひとそろえ
全部おつた
ですよ. まだ
ノーベル賞
もらってな
かったけど
も, ヒュー
イッシュとか
ジャコーニ
とか, ジョ
ン・ホイー
ラーとか, あ
とメラーと
かも. クリ
スチャン・
メラーって
相対論の教
科書ある
けど, 湯川
と同世代
の人で, 彼
はソルベー
関係者.

高橋: それで行く前に湯
川さんと記者
会見した
と.

佐藤: 1973年の5月に
所長と湯川
秀樹と私の
3人で記者
会見や
った. 京大
記者クラ
ブの記者
が基礎に
きて, 湯川
も出て
きてくれた
んですね.
で, 湯

川秀樹は、ソルベ会議っていうのがある、俺と朝永くんと坂田くんしか出たことない、みたいなこと言うわけやから、絶対新聞出るわな、次の日(笑)。今は日本にも一流の研究者がいっぱいおるけど、あの頃はそういう時代違うからね。湯川・朝永しかノーベル賞いなかった。あの年の10月に江崎さんがノーベル賞もらうんだけど。

高橋: で、新聞に載ったわけですか。

佐藤: うん、載った。毎日新聞のコピーがあるんだけど、あの頃、2面ぐらいのいいところにね、まあ政治漫画みたいな、一口漫画があった。それで翌日の毎日新聞のその漫画のテーマにもなった(図)。

高橋: どういう漫画なんですか？

佐藤: おじさんとおばさんがこうおって、おじさんが朝、新聞を持ってトイレに入ると。新聞に「富松・佐藤解」って書いてある。で、おばさんが、「あんた、そんなものを読みだしたら難しくて出てこれなくなる」って(笑)。



「アナタ、やめときなさい
出られなくなるわ!」

図4・1 当時の漫画(毎日新聞提供)。

図 ソルベ会議参加について新聞報道時に載った『毎日新聞』誌の一口漫画(佐藤氏提供)。

●世界周遊

高橋: それでソルベ会議に行くということですね。

佐藤: ええとね、ちょっとその前からの話をするよね、助教授で基研に移ったのが1971年の秋ですよね。次の1972年、富松・佐藤解で有名になる前に、早川(幸男)さんが林さんを通じて、まあ長い研究生活でやっぱり海外行ってんといかんっていうので、気をまわしてくれてUCバークレーの宇宙線のグループで口があると。その頃ベトナムも休戦とかで、あの大学紛争のうわーっていう時期は過ぎていたから僕も少しは落ち着いてきてて、そやなあ、人生長いんだからみたいなので、それで行こうという気になった。

高橋: 1回、林先生からの話を断ったんですよね(第4回参照)。

佐藤: うん、それで1973年の秋から1年バークレーに行くことになってたんです。それから1973年はIAUの総会の年で、コペルニクス生誕500年とかいうので、ポーランドが誘致したんですよ。だから1973年の9月にポーランドでIAU総会に出てからアメリカに行くと。ソルベ会議の話がおこる前から。なんでそんななるかって言うよね、あの頃正規料金しかないのね、飛行機賃。だからこっちから太平洋超えて行っても、ヨーロッパ寄って行っても、だから世界一周と一緒に値段なんですよ。だからどうせ行くならヨーロッパも行って、それでちょっとポーランドとかドイツのどこか見て、それでバークレーのカリフォルニアに行くみたいな。チケットは一緒やから。

高橋: そのチケット代もバークレーが出してくれるんですか？

佐藤: 結局はソルベ会議が出したことになったんじゃないかな。いずれにしる同じ金なんだから、ヨーロッパも見ろっていう計画をして、家族は直接バークレーに行くからその準備してたところに、最後にソルベ会議の話が入った。

高橋: 海外に行くのはそれが初めてですか?

佐藤: 初めてです. ところが僕, その1973年から急に国際づくんだわ. 初めて外国へ行って, それはものすごい経験やったね. 今の若い人と違ってまあ観光なんて行ったことないわけやから.

高橋: 長期で行くわけですね.

佐藤: うん. それでIAUは, 宇宙論とgravitational collapseと2つのシンポジウムに出た. 1つはクラコウのgravitational collapseのIAUシンポジウムで, そのconcluding remarksはペンローズやったけど, 最後の方に「富松・佐藤」ってちゃんと出てきたからね. いやそらあやっぱり感激だったね.

高橋: そこにペンローズもいたわけですね?

佐藤: うん, ペンローズはその後またソルベー会議にもいたね. まあIAUのは普通に申し込んでしゃべった. で, それのシンポジウムのまとめみたいなのがペンローズで, なんか5つくらい問題をあげた中にあったね.

それと宇宙論の方はワルシャワでやったのかな. 僕はビッグバンのでサプリメント書くとかで広く勉強した中で, ソ連のゼルドビッチのファンだったんだけど, あのときゼルドビッチに初めて会ったなあ. 握手しに行った. ぜひ会いたい

と思ってたから (笑). あのこと東側の人は西側になかなか出れないわけ. ポーランドは東側の国やから, バーツと来てるわけですよ.

高橋: それで, その次にソルベー会議ですね. やっぱり少人数なんですか? 何人くらいいたんですか?

佐藤: ええとそのときは普通よりは多かったみたいけども, まあ40人くらい.

高橋: どんな様子なんですか?

佐藤: ええとねえ, ソルベー会議は円卓会議なんです. ラウンドテーブルですわ. で, 僕はいろんな発言はできないけど, 少なくともみんな1人ずつ指名されるからそこではしゃべった. けどまあヒアリングもしゃべるのも大変やったから, この出席の成果はまあ顔つなぎやね. 偉い人いっぱい会いましたね, うん (写真2). で, 初めての外国で日本人は僕以外いなかったけど, 親身いろんなところで引き立ててくれたのはジョン・ホイーラー. 湯川の学生やというんで, まあ彼に親切にしてもらった.

高橋: 錚々たるメンバーがいて知り合いになったということですね. それで最後はパークレーですか.

佐藤: それはさっきも言ったように早川先生が



写真2 1973年ソルベー会議の記念写真 (佐藤氏提供). オブザーバーや会議スタッフも参加しているようである.

持ってきてくれた話で、早川先生はあの頃は名古屋でも実験の指導をしていて、UCバークレーのグループも実験のグループなんです。そこに1年おったわけね。一応こっちはスタッフでおるわけやから、まあちょっとはその研究室の関心にも合わさんといかんわなあ。それでアメリカにおるときに書いた論文が超新星爆発。そのグループは宇宙線の中のケミカルコンポジション（化学組成）の観測をしていて、僕はまあ元々宇宙線の起源とかやってたから。そのときに書いた論文は、超新星爆発したときに中にパルサーがあって、しばらく雲で囲まれてるでしょ。だから宇宙線がそれにぶつかって初めは出てこれないけど、少し薄くなったら出てこれる。それで、もっと薄くなったら反応しなくなる。そういう爆発後の時間的な変わり方みたいなのを論じた論文を書くんです。そのあともう1つ書いたのかな。その一連のやつが1987年の超新星のときに、TeVガンマ線観測のグループとひつつくわけ。あの爆発の直後1ヵ月くらい、TeVガンマ線が出るかもしれないと。バークレーでやって眠ってた研究が、ニュージーランドの高エネルギーガンマ観測につながっていくんです。

高橋：そうなんですか。SN1987Aとかガンマ線とかのお話はまた後ほど詳しく伺います。そのバークレーのグループのボスはどなたなんですか？

佐藤：プライスという。バークレーでもあの頃だと、ソルベー会議に出て帰ってきた男やっちゅうのは、もう相当なprestigeで、そのグループのボスも自慢なわけ。ソルベー会議に出てきた者がうちのグループにおけるのやみたい。それで次々人を紹介してくれたんですよ。タウンズの前でハヤシフェーズの話をしたこともある。数学の何とかさんは相対論に関心があるからってアポを取ってくれたり。それでバークレーにおるときに、何回か顔合わせたのが天文教室におったジョー・シルクです。バークレーの天文教室におったんや。後でオックスフォードに帰るけど、僕は物理教室。

高橋：シルクさんがいたんですね。バークレーは

ご家族で行かれたんですね？

佐藤：うん。上の子がちょうど小学校に入る。しかし子供ってあれやな、慣れるのが早いな、うん。

高橋：じゃあすぐに順応して？

佐藤：うん。だーれも日本人いないのに、ようこっちも勇気があったもんやねえ。親も英語しゃべれないのに（笑）。

高橋：生活の苦労はなかったですか？

佐藤：いやあてんやわんやっていう感じやったけどね。まあバークレーの物理っていうのはあの頃ものすごいステータスが高い、特に原子核素粒子の実験ね。ローレンスがおったところなんです。それといろいろな分野で日本人が多くいて、そのときに知り合って帰ってからも続いた人も何人かいた。素粒子の理論にフルプロフェッサーで僕と同級かな、鈴木（真彦）さんがおったんです。東大出のね。そこんとこの奥さんが保育所を紹介してくれたり、まああてんやわんややった。バークレーの素粒子の理論のプロフェッサーってその後大栗（博司）君もなったし、それから村山（斉）君なんかも教授になった。

高橋：結構日本人がいたんですね。

佐藤：で、1974年に帰ってきたときには基研の教授やった。いないときに教授になった。

高橋：早いんですね、助教授から教授は。

佐藤：うん、そうです、あつという間。ちょうど空いたんや、原子核理論の教授ポストが。

高橋：それもアブライしたんですか？

佐藤：いや何もしてない。

高橋：勝手になったんですか？

佐藤：うん、勝手になった（笑）。

●富松・佐藤解のその後

高橋：富松・佐藤解は、最初の論文と次の論文で大きな反響があったということですが、その後はどうなったんですか？

佐藤：富松・佐藤解が物理的にもっと自由に揉まれるのは1975年くらいからやね。1975年、トリ

エステとヴァレンナでブラックホールの会議があった。トリエステの会議では僕はサラムらと並んで組織委員をして、これが後にマーセル・グロスマン会議になった。その辺はもうワッと大変な数の宇宙物理の集まりになっていったね。1977年あたりはよく外国行ってたなあ。

それでその頃から数理物理屋がワッと参入してきて、1978年か1980年あたり、富松・佐藤解は多重ソリトンだと言われたすんですね。ソリトンの言葉でいうと、まず1個ソリトンがある。それをseed solutionとか言っって、これからある種の手続き、逆散乱法とかベックランド変換とか数種類あるんだけど、いずれにしろきちんと定まってる、コンピュータでマニピュレーションでできるような手続きを踏むと、それを2個にしたり3個にしたりできるんですよ。だからカー解が1つあると、その手続きをして富松・佐藤解がポンポンと出てくるんです。

高橋: カー解を知っていれば他の解を生み出せるということですか。富松・佐藤解はカーブラックホールをいくつか重ね合わせたようなものなのということなんですかね。それでソリトンのようだ。

佐藤: 要するにそれは僕らもはじめ厳密解出したときにはわからなかったんだけど、カー解が1つのソリトン解だとすると、それを2つ重ねたのが $\delta=2$ の富松・佐藤解だと。で、 $\delta=3$ は3個を重ねたようなものだという。僕らもそれに飛びついて、多重というなら実際に絵を書かせてみたら面白いんじゃないかと思って、大原・佐藤とかいう論文あるでしょ、1981年かな[3]。z軸上に回転軸がそろってブラックホールが並んで、1つあるのがカー解。2つあるのが $\delta=2$ 。で、3個あるのが $\delta=3$ 、みたいな対応が付くんですわ。それから富松・佐藤っていう論文もその時期にあって、ソリトンの問題のレビューも入れて書いた[4]。

高橋: ソリトンはもともと流体の孤立した波みたいな解なわけじゃないですか。その流体の方程式とアインシュタイン方程式が同じような形という

ことなんですか？

佐藤: ソリトン解っていうのは空間1次元と時間でしょ。だから時間・空間2次元上の非線形偏微分方程式。それに対して、一般相対論の軸対称定常っていう解は、円柱座標でz軸と動径方向の空間・空間ですよ。ソリトン解のソリタリーっていうのは、あるところだけ盛り上がってるということやな。で一般相対論でいうと、無限遠でフラットということ。「ソリタリー」と「無限遠でフラット」とは一緒なわけね。だからあのうソリトンのウェーブみたいな方程式になるんですね。

高橋: そうなんですか。時間・空間と空間・空間の違いはあっても数学的には同じような形式なわけですね。

佐藤: そんなものはどっちかを虚数化してユークリッド化したりすると、方程式としてはもう一緒になるんです。だから富松・佐藤解も空間1次元で時間的に進行するほんまの非線形重力波みたいなものにも変換できるんです。

高橋: 本当のソリトンみたいな。

佐藤: うん、本当の非線形重力波ソリトン。非線形でカーブラックホールがz軸上にいくつかあるんだから、ブラックホールの非線形の衝突みたいにもなる。重なってまた離れていくとかね。数理的にだけ言えば、そういういろんな見方ができます。そこらへんになるともう物理を離れちゃって分からんから、単に数式上そういうこともできるみたいな。とにかくまあいっぱいいいじれるみたい。もうフォローしてないです、僕は。

そのへんでなんというか、よく言えば富松・佐藤解の理論的根拠が分かったんだけど、まあちょっと残念なのは、理論的根拠が分かっていたら富松・佐藤解は出るべくして出るありきたりの解だったんだね。そんならソリトンのテクニックのある人がやればよかったみたいな話なんだけど。ある種の神秘性みたいなのがちょっと減った。なんだ、手順を踏めばコンピュータでも出せるのかみたいになったわけやから。

高橋: ああ〜、種がわかってしまうと。知っていればカー解からその手続きで作り出せる。

佐藤: うんそうそう、ある意味で後は自動的に出てくる。数理解物理やってる人は相対論だろうが流体の波だろうが何でもいいんだ。そういう連中が参入してくるわけです。

高橋: 佐藤さんとしてはそういう数理解物理的な方にも関心があったわけですか？

佐藤: まあそのころ一通り勉強はしてみたけども、これで今さらオリジナルなことをやるのは…、という気はしたね。せいぜい名前が残ればいいと。だから1980年代の初旬くらいである意味まあ回答が出たんやな、そういう答えがあるというのがもう必然のことだったという。で、残ったのがTS解の物理的性質です。時空としての。その辺は2003年の疋田・小玉とかでも動きがあったと思うけど[5]、あのあたりからギボンスとかがまたやり出して、今進行中なんや[6]。そのあたりはもう僕が京大定年になった後やから、too lateということですよ。

高橋: ところで、先ほどの佐藤・小玉の『一般相対論』の教科書ですが、僕も大学院生の頃に読みました。数学的に高度でなかなか難しいんですが、読んでるととても賢くなったような気分になりましたね(笑)。それで、当時噂で聞いていたんですが、最初の1章だけ佐藤さんが書いて、残り小玉さんが書いたっていう…。

佐藤: そうです。

高橋: そうなんですか(笑)。確かに最初の1章と残りだけでだいぶ雰囲気が違うなどとは思っていましたが。

佐藤: ただ、これとこれとこれを書けっていうリストは小玉さんに渡した。100%そうはなってないけども。彼も知らなかったみたいで、書くために勉強したみたい。

高橋: あ、そうなんですか。1章は非常に含蓄のあるというか、物理的な示唆に富んでいるという感じで、小玉さんのところはだいぶ数学的ですね。

佐藤: うん、数学的にっていうのも小玉くんと二人で話して「数学的に、数学的に」って。数学的だと売れないっちゃうけども、バカ売れした。

高橋: ギャップがあってなかなか面白かったです。

佐藤: うん、それは初めからそう仕組んだ(笑)。

(第6回に続く)

謝 辞

本活動は天文学振興財団からの助成を受けています。

参考文献

- [1] Tomimatsu, A., & Sato, H., 1972, PRL., 29, 1344
- [2] Tomimatsu, A., & Sato, H., 1973, PTP., 50, 95
- [3] Oohara, K., & Sato, H., 1981, PTP., 65, 1891
- [4] Tomimatsu, A., & Sato, H., 1981, PTPS., 70, 215
- [5] Kodama, H., & Hikida, W., 2003, CQG., 20, 5121
- [6] Gibbons, G., & Kodama, H., 2009, PTP., 121, 1361; Manko, V. S., 2012, PTP., 127, 1057

A Long Interview with Prof. Humitaka Sato [5]

Keitaro TAKAHASHI

Faculty of Advanced Science and Technology,
Kumamoto University, 2-39-1 Kurokami,
Kumamoto 860-8555, Japan

Abstract: This is the fifth article of the series of a long interview with Prof. Humitaka Sato. He moved to Yukawa Institute for Theoretical Physics in 1971 as an associate professor. During this time, he achieved a significant accomplishment in his research on general relativity, which he started with Mr. Tomimatsu, who was a graduate student at that time. They discovered a steady and axially-symmetric exact solution known as the Tomimatsu-Sato solution. This discovery was immediately recognized for its importance in the field of astrophysics in the context of black holes. Moreover, it had a significant impact on mathematical physics due to its resemblance to solitons. In 1973, Prof. Sato was invited to the Solvay Conference, becoming the fourth Japanese participant. In this article, he talks about the details of the Tomimatsu-Sato solution and the Solvay Conference.