佐藤文隆氏ロングインタビュー 第6回：素粒子と宇宙

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6回です．前回に引き続き，京都大学基礎物理学研究所での助教授時代の話ですが，1970年代は素粒子物理学においてクォーク革命と呼ばれる大きな発見があり，現在の標準理論が確立されていった時期でした．ヒッグス粒子や真空の相転移といった概念やニュートリノ質量は宇宙物理学にも影響を及ぼし，素粒子宇宙論を一般相対論とともに研究の柱の1つにしていた佐藤氏も大いに刺激を受けました．今回は素粒子物理学の激動期とともに宇宙物理学がどのように発展していったのかを詳しく聞いていきます．

●クォーク革命

高橋：前回は主に一般相対論の富松・佐藤解の話をしていただきました．基礎物理学研究所に助教授で移って，研究の2つの柱にしたというのが一般相対論と素粒子宇宙論ですよね．今回は後者の素粒子の方をもう少し詳しくお話ししていただけますか？

佐藤：僕はそれまでにビッグバンでの原子核合成の話はまあだいたいやれることはやってたから，今度はビッグバンで素粒子やりたいと素粒子勉強したんです．ほんでねえ，この前も少し話したけど，1960年代の終わりにワインバーグ・サラム理論は出てるんだけども，それほど主流じゃなかったね，僕のイメージでは．当時，今でいう標準理論的なのと，もう1つね，チュウとかフラウチとかいう人たちのハドロン理論が流行ってた．今もう聞かなくなったけど．それはなんていうかなあ，クォークじゃないんですよ．標準理論はハドロンをバラバラにして，そのバラバラのものが相互作用するという形で完成したわけね．

高橋：ハドロンはクォークからできていて，強い相互作用で結びついているということですよね．

佐藤：うん，で，そうでない一派があって，ハドロンというのはそれ以上分けられないようなもので，ハドロンの励起状態みたいなのを主に議論してる一派があったんです．一方のクォーク・ゲージ理論も結構巨大な勢力で，もう一方も結構大きい．今では滅びちゃったけれども．そこらへん僕は迷ってた．どっちにしようかみたいな．それで結局僕はビッグバンに応用するのに最初ハドロン理論の方に飛びついたんですよ．それで前回話した一般相対論の富松・佐藤解の前の富松・佐藤という論文が2つあるんです．不発に終わったんだけども．

高橋：当時はそっちの方が有望だったということなんですか？

佐藤：有望っていうか，ハドロンに使えるのはこっちみたいで飛びついたんや．ミスってた．

高橋：そのハドロンの理論で初期宇宙がどうなっていたかを論じたということですか．

佐藤：それはね，物質反物質の問題なんです．

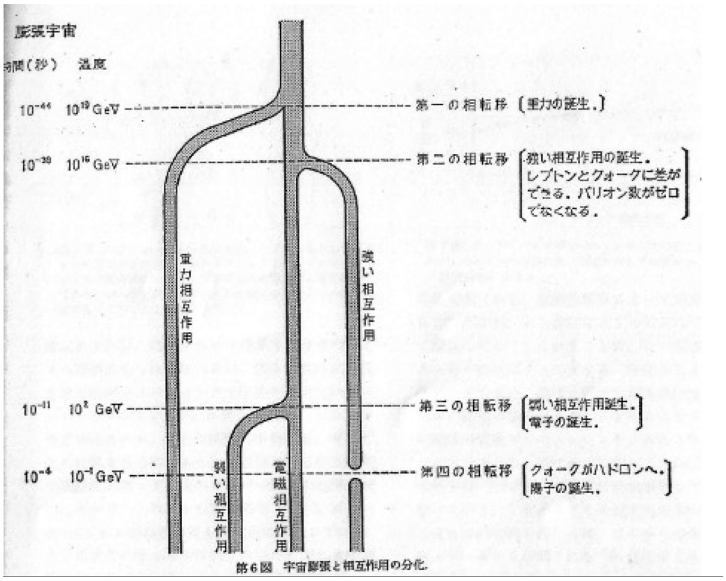
高橋：なんでこの宇宙には物質ばかりがあって反物質がこんなに少ないのか，という問題ですね．
佐藤：うん．天文だと理想気体が多いんだけども，宇宙の初期に行くとハドロンが引っつくくらいに密度が高いわけでしょ．その不完全気体の状態方程式を素粒子のそのハドロン理論で導こうとした．それで物性の方の話で，理想気体では起きないけども，相互作用入れると空間的に性質の異なった2層に分かれるという話があるんですよ．僕やっぱりスタートラインがプラズマだったもんだから，何となくそういう物性的なの知ってて．だって久保（亮五）研の助教授に応募したこともあるんやから（笑）．だから物質・反物質の問題を，不完全気体が空間的に分かれるというので議論しようとした．
高橋：なるほど，それはそれで面白いですね．
佐藤：うん．そこに持っていくにはハドロン同士の相互作用を取り入れて，不完全気体の状態方程式を作らんといかんという壮大な目標を立てて，それで取り組んだんやな．だけど途中からこれは埒があかんなと，僕悟ったんです．だからやめようやめよう言うて．で相対論の方に行ったんだけど．
高橋：状態方程式は一応出したわけですか？
佐藤：いや，出せなかった．結構いろんな議論してんだけれども，やめようやめようっていう感じやったな（笑）．ということで，僕は当時ワインバーグ・サラム，ヒッグス場のあたりは認識してなかったです．勉強してなかった．京都に益川（敏英）が来る前やけども，素粒子の人に聞いたときに，「あれはおもちゃみたいなもんや，あんなきれいにいくはずないよ」と言うて．一般相対論みたいなもんで，きれいだけども現実にはないみたいな受け取り方多かったんだと思う．あれ，見方が変わるのは1970年代になってからですよ．加速器の実験でワーッと変わるんです．

で，前に話したようにアメリカに行って1年して帰ってきたのが1974年秋なんです．

高橋：ソルベー会議に出て，アメリカのバークレーにしばらく滞在して，ということでしたね．
佐藤：日本に帰って間もなく勝君（佐藤勝彦）が基研に来たんだな．議論してほしいみたいな．1974年の秋ですね．そのときは勝君が天体核の助手になる前やったかな．あの頃はオーバードクターが猖獗を極めてるくらい大変な頃やな．

その1974年っていうのはね，いわゆるクォーク革命とかいう年なんですよ．その年にJ/ψという中間子の実験結果が出て，チャームクォークっていう4番目のクォークがあるというのが明らかになった．いやあすごかったですね．帰って間もなくくらい，「クォーク革命」とかって新聞にも大きく出たりした．牧（二郎）さんなんかの仕事もそれで評価がバーっと上がるんだけど，まあ素粒子の理論の中でなんていうかな，ゴニャゴニャしてたのがパッと収まったのの始まりみたいな．まだ標準理論という言葉はなかったけども，1974年くらいにはワインバーグ・サラムの理論が本命らしいと，もうそっちが勝った感じやったね．

で，勝君がやってきて，勝君はそれまでは超新星爆発でのニュートリノの扱い，ニュートリノのcross section（断面積）の問題で素粒子の方に興味持ってたんだね．それで運がよかったのは，ワインバーグ・サラムが標準理論になる前からワインバーグ・サラムが本命やということを，物理教室におった小林（誠）・益川から聞くんだわ．だからきっとニュートリノのこと聞きに行ったんやと思うわ，素粒子でどうなってるか．そしたらまだ一般的には本命じゃなかったけど，小林・益川は本命やと思ってた．彼らの仕事もそれが前提なんで．
高橋：いわゆる小林・益川理論ですね．
佐藤：うん，だから勝君，早いこと知ったんだなあ．まあみんなはJ/ψの発見があって乗り替えるんだけども，勝君はJ/ψよりも小林君から聞いてたからなんじゃないかなあ．で，勝君はヒッグスメカニズムやらなんか勉強してて，僕も勝君から



初めて掲載された「力の分岐図」(佐藤氏提供).佐藤文隆・佐藤勝彦「宇宙はどうして始まった」『自然』(中央公論社),1978年12月号.

最初聞いたような気がする.それで僕も勉強して,要するにその素粒子宇宙論を変なハドロンモデルじゃなくて,今度はワインバーグ・サラム理論に乗ってやる.ワインバーグ・サラム理論にはヒッグス粒子っていうのがあることになってるから,それが天体的にどういう影響をもたらすかとか,そういう議論をしたよな.2つ佐藤・佐藤という論文があって,その後続いていく[1].

高橋: そうですね,1975年に2つありますね.ヒッグスメカニズムと天体,初期宇宙みたいな内容なんですか?

佐藤: 初期宇宙だけじゃなくて星の終末みたいな,なんかこう関係するかもしれない現象をリストアップしたみたいな論文.まあヒッグス粒子の質量も何もわかってないから,それをパラメーターにして.僕らの素粒子宇宙論の論文というのは世界的にも非常に早かったですね.あの頃はやっぱり,今でもそうかも知らんけど,何と言ったって素粒子っていう学問は一番尊い学問やみたいなのあったから,それと宇宙の初期が関係するというような話は結構受けるんです.ある種,非常にダイナミックな時期やな.

●真空の相転移

佐藤: それで面白かったのはむしろヒッグスの方やったね.ヒッグス場というのが有限の値で,こうずっと外場みたいに宇宙を埋め尽くしてるんだというのがね,なんかものすごい,それまで考えたことないみたいな.真空の相転移ってやつですね.だけど真空の相転移で宇宙の見方が変わったというのでは論文にならへんので,論文にしたのはヒッグス場が宇宙や星の進化に及ぼす影響とかいうのですけども,そういう論文よりもやっぱり日本語の解説で書いた真空の相転移と相互作用の分岐の図.『自然』っていう雑誌に日本語で書いてますよね.

高橋: 僕は子供の頃から見かけてましたし,今でもよく見ますよね.

佐藤: うん,真空の相転移みたいなのを掛け軸的にして非常にわかりやすい.あれは2人の傑作やった.勝君が僕の基研の部屋にきて,電気をつけるのも忘れて薄暗い中,ずいぶん議論したですよ.

高橋：宇宙の進化と素粒子の力の統一を結びつけたっていうことなんですよね．

佐藤：膨張宇宙の中で真空の相転移ということが次々と起こるということやね．ヒッグス場の値というのが0なら非常に普遍的ですけども，中途半端な値なわけでしょ．素粒子の質量を決めてることになってるわけですから．だから宇宙というのがユニバーサルでなくて，そういう物理定数の特殊なセットの世界なんだみたいなこととか，いろいろなことで考え方が変わったよね，あのへんは．あの絵はそのあと勝君が基研であったサマースクール，英語の研究会で見せたり，僕もテキサスシンポジウムのinvited talkでもあの絵を見せたり，世界的にも普及したのね．外国でも流行ったんだから．ジョー・シルクって知ってるでしょ？　僕がバークレーに行ったとき彼もいて知り合って，彼は後でオックスフォードに移ったけどね．彼も一般書を書いたんだけど，そこにあの絵が描いてあった．で，「あれは僕らが最初に書いたんだからちゃんとそのクレジット書いておけ」言うて，手紙出したことある（笑）．

それで1978年に素粒子の大きな国際会議が東京であったんですわ．そのあたりに「標準理論」という言葉が素粒子で登場して，その会議のconcluding remarksを南部（陽一郎）さんがやったんですね．南部さんのスピーチは実にはっきりしてて，標準理論は電磁相互作用，弱い相互作用，強い相互作用，その3つだということ，一方重力はこれからまだまだですよみたいな言い方で，重力も統一するという話と割合クリアに分けてるんです．あの頃，大統一理論とか，それから一般相対論まで統一するとか話としては出てたけども，標準理論というのは一応ここまでで実験的に確立したと．それでその標準理論というのの中にうまく小林・益川理論を組み込んだ．だから小林・益川までが実験的に確立して，重力との統一とか云々なんて海のものとも山のものともしれないのはまあこれからの課題であると割合クリアに分けた．

高橋：小林・益川理論はその時点で認められてたんですね．

佐藤：認められていたし，1978年の南部さんの扱いでガッと当然という雰囲気になったんです．次の次の年にアメリカの物理学会が小林・益川に賞出したりなんかして．そういうの，たぶん南部さんが推薦したんだと思うよ，アメリカで．でも「標準」っていうのは逆にいうとそこで終わったわけですね（笑），辛い言い方だけど．そこから大量に失業したんです．

高橋：完成したと．

佐藤：完成しちゃったんだから，そこからある意味で素粒子の漂流が始まったよね．僕から言わすと．だから1978年あたりからもう素粒子の実験が難しくなっちゃったわけね．巨大になりすぎて．残ってたニュートリノは加速器でなくても比較的できるから，みんなニュートリノにシフトしちゃった．

●インフレーション

高橋：素粒子宇宙論というと，佐藤勝彦さんはその後，インフレーション理論を提唱していきますね．

佐藤：勝君はまずコペンハーゲンへ行きます．1979年から行ってたのかな．で，1980年の夏に帰ってきたんだと思う．僕はそのインフレーションの話は勝君が帰ってきてから聞きました．その印象は，要するに真空の相転移でモノポールがたくさんできすぎて困るという話を指数関数的膨張で空間が大きくなって薄まる．だからモノポール退治みたいな話に初め聞いた．だからモノポール問題で真空の相転移が否定されるというのを外すことができたと．1980年の秋くらいに基研で研究会があったときに，日本の人は勝君の話を初めて聞いたんだと思うんだけども，まあそんな感じやったね．

それからその12月に僕はボルチモアでのテキサスシンポジウムに招かれて行くわけね．そした

ら，コペンハーゲンで勝君と一緒だったカザーナスって男がNASAに移ってたんやな．で，カザーナスは初め勝君が来るんだと思ったらしい．

高橋：苗字が一緒だから．

佐藤：うん．まあ僕が行ったときはもうそんな素振りはなかったけども．その頃，野本（憲一）君もそこにいた．その年のテキサスシンポジウムを世話してるのはその研究所のX線天文のひとだったから，僕は2, 3日前にそっちの研究所に行ってそっから連れて行ってもらった．そしたらカザーナスがやってきて，シンポジウムの初日の前の日にアラン・グースと3人で食事しようと．だから3人で食事したんだけども，カザーナスがさかんに「カツはその後何やってる」みたいなことを聞いて，僕は「モノポールトラブルを退治したみたいね」みたいなことを言うたと思う（笑）．

客観的にはグースの論文の発行は1981年なんかな．だけどシンポジウムは1980年の12月ですからね，その論文はもう掲載決定になってるみたいな時期です．グースの方は宇宙がフラットだとか宇宙の年齢が長いのとか，そういう宇宙モデルの長年の課題を解決するみたいなポイントなんですね．だからそこは論文の書き方が勝君と違ったんちゃうかな．で，グースの講演はまだプレナリーセッションじゃなかったです．夜の分科会の一般講演やったですね．僕は昼間のプレナリーやったけど．まあ僕も顔合わせてたから，その夜セッションに聞きに行ったんです．そしたらすごい人でね，入れないくらい．すごい話題になってたんやなと思った．

高橋：もう知られてたわけですね．

佐藤：うん，彼はテニュア職を獲得する年頃で，あちこちの大学で喋っていたみたいやな．もうびっしり床に座って．僕も入れないくらいやった．後ろまで立ってこんなして見てる．まあそらものすごい熱気やった．ほんで途中でドン・ページがなんか大きな声上げて駆け込んできて，ホーキングがどう言ってるみたいなコメントをしたりしてね．あれ夜の分科会には本当は何人か設定されてたんだと思うんだけど，他は全部吹っ飛んだんじゃないかなあ．延々とやってた．

高橋：そうなんですか．時間を超えて議論をして．

佐藤：うん，すごい盛り上がり．驚いた．それでグースの話終わったらサーっといなくなる（笑）．ともかくすごい人気やったね．というのがまあ僕のインフレーションとの出会い．だからグースの論文は宇宙モデルとしてあるのね．宇宙の年齢っていうのが素粒子のタイムスケールと全然違うのは何でかとか．そっちから議論して行ってあんまり式とかスカラー場なんて出てこないような話だよね．宇宙のモデルの話．勝君のはスカラー場の相転移が起こったときにディフェクト（位相欠陥）みたいなのがいっぱいできて一様な宇宙にならない，これをどう解決するかとか，そういう導入になってるんだね．それと勝君がほとんど同時期に出した論文が2つ3つあるでしょ．それは反物質の問題で，やっぱり空間的に小さいところでここが物質，ここが反物質，となっているところを指数関数的膨張でワーッと離して，みたいな議論やね．勝君のは動機としてはGrand Unified Theory（大統一理論）で真空の相転移があってということなんだけども，グースのは統一理論だろうが何だろうがただ宇宙論のモデルとして，という言い方をしてるのね．その指数関数的膨張の原因はなんであろうと，みたいな．

高橋：グースの講演がそんなに注目されてたというのは，やっぱりその前に地平線問題とか平坦性問題っていうのがもう大きな問題としてあったということですか？

佐藤：いや，そんなのは教科書に書いてあったかも知らんけど，もう学会的には問題になってなかった．

高橋：そうなんですか．

佐藤：うん．それはあのうなんていうかなあ，たちの悪い問題だと…．ペンジアス・ウィルソンのCMBの発見の前にビッグバンか定常宇宙論かっ

ていうのがある種理論的な問題としてあって，なにしろホイルたちの定常宇宙論は指数関数的膨張ですから．減速膨張ならcomoving座標（共動座標）で新しいところがどんどんホライズンに入って見えてくるわけですよね．加速膨張だと逆で，定常宇宙論では重元素がどんどん宇宙に増えて行ったら加速膨張でザーッと延ばしてホライズンの外へ持って行けばいい．というので定常宇宙論というのはそういうふうに加速膨張を利用してるのね．

高橋：へ〜．

佐藤：インフレーションというのもそうなわけですよね．

高橋：なるほど，加速膨張で重元素を薄めるか，モノポールを薄めるか，ということで同じ考え方ですね．

佐藤：同じなんです．だからその時代からの流れを知ってると，またあれかいなみたいなところがあった．たちの悪いやつが出てきたなみたいな（笑）．いや，勝君がデンマークから帰ってきてね，それでそのインフレーションにあたるのを話したとき，僕がホライズン問題にケチつけたんですよね．そしたら勝君が，「いや，ホライズン問題は佐藤さんが書いた『宇宙物理学』の教科書で僕は勉強したんだ」とか言って（笑）．それで後から見たらね，ホライズン問題を実に丁寧に説明してるのね．普通の減速膨張と定常宇宙論の加速膨張でホライズンの振る舞いが全然違うんだというのを丁寧に書いてあるんやわ，あの教科書に（笑）．

だからその教科書を書いたときの僕の定常宇宙論に対するイメージは，なんか宇宙が重元素でだんだん汚れてくるのが溜まらんように，いつも水素を新しく無から作って，それで適当に混じった段階でホライズンから出していくと．だから今の重元素の量が少ないのを説明できるというのがホイルの理論なんですよ．そんなに都合よくいくもんかって，詐欺師みたいなイメージがあったけどね．

高橋：加速膨張の割合とか物質の生成率とかがちょうどよく調整されていないといけないわけですね．

佐藤：だからホイルの影響っていうのは大きいですね．何しろ元素合成の神様みたいなものですからね．定常宇宙だと重元素が溜まって困ると思うのは普通で，それを加速膨張で説明するっていうのは実にうまいトリックっていうか，なんか振り回されてた感じやなあ．まあでも僕の世代しかいないな，あの頃ホイルを一生懸命読んだの．ビッグバンと定常宇宙論のどっちが本当だろうという時代を経験してる数少ない世代と思うわ．初めからあんな怪しげなっていうんじゃなくて，どっちが本当だろうって．だって片っ方は大物だもん．元素合成とかでちゃんとした仕事してる人でしょう．それこそ天体核，nuclear astrophysicsの創始者や．原子核実験のファウラーが元素合成でノーベル賞をもらったけど，本当はホイルももらわんとあかんよね．だけどあんまりいろんなこと言いすぎてるからね，外されたっていう話がある（笑）．

高橋：そうですね，僕の世代だと定常宇宙論は怪しげだっていうイメージが最初からありましたね（笑）．じゃあインフレーションの話が出てきたとき，ちょっとなんか似たようなのが出てきたなっていうのがありましたか．

佐藤：そういうのはちょっとあった，うん．だから僕はインフレーションはサイエンスとして，揺らぎの起源とか，それからもちろん原始重力波が決め手だと思うね．宇宙がフラットだとかじゃなくてね，もっとポジティブなエビデンスですね．いやなんで初めからフラットちゃうのとかね，初めにごじゃごじゃするという理由言うてくださいとなるでしょ．初めからごじゃごじゃしてないかもしれないのに．だからそんなところで争うんじゃなくて．

高橋：平坦性問題はそもそも問題なのかっていうことですか．

佐藤：そうです．だってインフレーションは，「最初は宇宙がどんなに乱れてても加速膨張でフラットになる」とかいう言い方なわけじゃん．で

も「最初は乱れてる」という理由を言ってくれないと,「初めからフラットという仮定はなぜいけないんですか」となるやん.乱れてる理由,必ず乱れるんだと言うてもらわんと.

だから僕はそのころ「マッチポンプ」とか言ってますよね.マッチで火事を起こして消防で駆けつけて手柄にする.もともとマッチを擦らなければ問題ないわけですよ.そのころ自民党の政治家はマッチポンプ屋が多いとかいう言葉があったんだけど,何かをやるときトラブルがあるのを解決したっていうんで.

だけどインフレーションが勝君とかグースのだけじゃなくてワーッと盛り上がったのは,やっぱりリンデの話が出てからや.それまでのは宇宙はいっぺんホットでクールしてきてそこでインフレーションが出てきてみたいな話やったけど,リンデのは最初から熱のないスカラー場から始まってというので,その後そのまま全部それになっちゃったでしょ.ニューインフレーションとかいう言葉で.あの辺から論文が増えたんだよね.それがいいならこれもいいみたいな.それでアナーキーな状態になったんじゃないかな.

ただ残るのはやっぱりあの揺らぎの話でしょうね.COBEで見つかった10の−5乗の揺らぎが出せるかどうかという.インフレーションはなにしろGrand Unified Theoryみたいな確固としたものがないんやから,それは出せるんじゃなくて合わすことができるとしか言いようがないんだけどね.だから具体的なモデルとしてはニューインフレーションになってからみんなが飛びついた,という見方やね.

高橋: まあ揺らぎの大きさはインフレーションのエネルギースケールとかポテンシャルの形で決まっていて,今のところパラメータですよね.それを決めるような原理がないと.

佐藤: うん.で,揺らぎのスペクトルのハリソン・ゼルドビッチスペクトル,あれは要するに特徴がないという.

高橋: スケール不変ですね.

佐藤: 揺らぎは特に特徴がないなら,なんも理由なければガウシアンでハリソン・ゼルドビッチスペクトルに決まってる.そういうところがあります.ハリソン・ゼルドビッチっていう言葉がインフレーションの前からもうあったわけやから.

高橋: 原始重力波がCMBの偏光でもうじき見つかるかもっていう感じですよね.それが見つかるとかなりそれはインフレーションをサポートしますよね.

佐藤: インフレーションはそこから始まるんじゃないの,逆に.っていうのは,そのインフレーションのスカラー場をどう入れたり絡めたりするかというのはもう原理がないからね.もう絞り切れないようになってるわけでしょ.だから観測があると,観測の方がインフレーション理論の具体像を作るわけですね.だって証明するんだったらきちんと数字を言ってなきゃいけない.それが正しいか正しくないかという.だからまあいずれにしろ観測がものを決めてくれないと,みんななんかさまよいだすという話やね.何千人という人がさまよう.さまようのは世界で50人くらいにしておいたらいいんじゃないかと僕は思うんだけど.

●ニュートリノクラスタリング

佐藤: インフレーションの頃はね,僕は高原・佐藤というのでニュートリノクラスタリングをやってたわけ[2].これはねえ,1978年とか1979年とかに原子核実験の方で原子核のベータ崩壊のエネルギースペクトルの結果から,ニュートリノに質量があるという話があったんですね.それで話題になったんですよ.それに僕飛びついて,その前からニュートリノに質量があればダークマターが説明できるっていう話があったんですよ.で,早速このニュートリノの質量,10 eVとか何とかくらいだと,それのクラスターはちょうど銀河団くらいの質量の星になると書いてあるんですね.

高橋: ニュートリノが暗黒物質として作るハロー

の質量ということですね？

佐藤：平衡な状態としてニュートリノがつりあったサイズがどうなるかという論文を高原・佐藤で書いたんやな．それやけに早かったんですよ，世界的に．

で，面白いよ，あんた知ってる？　昔はこういう議論ばっかりしてたんだよ．チャンドラセカール質量っていうのがね，プランク質量の3乗割る核子質量の2乗なんだ，だいたいね．核子って10^{-24}グラムでしょ．だから2乗すると−48乗でしょ，でプランク質量っていうのは10^{-5}グラムやから，3乗すると−15乗だ．すると48引く15で33と，これ太陽質量になる．

高橋：それがだいたいチャンドラセカール質量ということですね．プランク質量と核子質量だけで簡単に出てくると．

佐藤：昔はこういう話を知ってる人多かった．パパっとこう手で出すんですよ．それでこういうのはフェルミオン星なわけ．核子の質量はエネルギーでいうと，10^9 eVでしょ．それがニュートリノだと10 eVとかになるわけですね．そしたら質量の比の2乗でパッと大きくなるわけね．だからちょうど銀河団の質量，パーっとひらめいた．

高橋：太陽質量の10^{16}倍でだいたい銀河団くらいなわけですね，すごいですね．

佐藤：そっから始まった．だから星的に論じてるんです，あの論文．でもそれがちょっと後の潮流に合わなくなったんだな．むしろ動的みたいになった．だから確かに今の大規模構造とイメージとちょっと違ってたんだけどね．それに今はニュートリノの質量はもっと小さいよね．核子の質量の10^9分の1より小さい．

高橋：まあでもニュートリノの質量が10 eVくらいなら，銀河団の質量が説明できるということなんですね．

佐藤：そうそうそう．これが1980年の佐藤・高原論文です．で，その年の12月にこの話で僕テキサスシンポジウムに呼ばれて行ってinvited talkやるんですよ．

高橋：ああ，これで呼ばれたわけですか．

佐藤：そう．実はこの年の夏に林（忠四郎）の還暦の国際会議があって，サルピータが来てて，彼にこの話を売り込んだ．それでたまたま彼はテキサスシンポジウムの組織委員だったわけね．当時はテキサスシンポジウム最盛期くらいで，プレナリーセッションは1,000人近くいたんじゃない？僕はいろんな国際会議に出たけど，僕あんだけの人の前でしゃべったの1回だけ．それくらい流行ってる頃．だからinvited speaker言うたら光栄の至りみたいな．ジョン・ホイラーが司会者だったね．そのとき日本人でプレナリーセッションはあんまりいなかったですよ．小田（稔）さんとそのあと戸塚（洋二）氏くらいかな．

高橋：へえ〜，聴衆が1,000人っていうとなかなかすごいですよね．

佐藤：すごいですよ．僕もあれが最高だったな．あの頃こういう分野は最高の盛り上がりやったね．

●ブラックホールの蒸発

高橋：先ほどのクォーク革命の1974年にはホーキングのブラックホールの黒体放射と蒸発の論文も出ていますね．それについては何か思い出はあ

1975年，広島の原爆ドーム前でレモ・ルフィーニ氏と（佐藤氏提供）．『ブラックホール』（中公自然選書）はレモ・ルフィーニが持つ図表を使ってでき上がった．

りますか？

佐藤： あのホーキングの論文，1974年ね．僕がアメリカから帰って来てまだパブリッシュされてなかった．それでプレプリントが出回って，なんでか僕もプレプリントをもらったけども，南部さんから回ってきたものやったね．南部さんの署名，名前が書いてあるプレプリントやった，なんでか知らん．だから荒船（次郎）君かなんかが基研にコピーを送ってくれたんかな．それで僕も基研で割合早く手にしましたね．とにかく話題だったです．たくさんゼロックスして配ったりして．それでわかんなくてね，初め．

高橋： 内容がですか？

佐藤： 内容が．フォローできなくて，少なくとも僕は．それで佐々木（節）君がまだM1かM2くらいかな，「お前わかるか」言うたら分からないみたいで，彼と同級で素粒子の青山（秀明）君という知り合いがいて，それで僕の部屋で解読しようとしたんだわ．それで青山君が，「うちの小林（誠）さんは何でもわかる」って言うて（笑）．小林君はほんまに論文を自分で書かんで，そういう他人のわからん話の相談相手みたいな人やったからね，あの頃は．あの小林・益川論文（1973年）の後，自分でほとんど書いてない．その代わりあの素粒子の研究室にとってはもう貴重な人．朝からもうテーブル開けておいて，人が来るのを待ってる（笑）．

高橋： 相談に乗ってくれるわけですか．

佐藤： 相談．よろず相談窓口みたいな．それで青山君もとにかく小林さんは何でもわかるって（笑）．で，小林君は助手で僕はもう教授やったけども，小林君に教わるんだから僕が助手の部屋に通った（笑）．5, 6回，3人で彼の部屋に通って．

高橋： それでわかったんですか？

佐藤： わかった．あのうなんていうか，初めからそう書けばいいのにと僕は思ったけど，ボゴリューボフ変換と一緒のことをやってるんだってので僕はパッと分かった気になったけども，そういう書き方してないですよ．だからまあやっぱりああいう新しいものっていうのはいろんな流れのものだからね．やっぱりなかなか分からなかったですね．だけど小林君と一緒にやって，その式はフォローできるわけね，少なくともこう仮定すればこうこうこうでこうなんだよと．ということがありましたね．それくらい話題やったね．

高橋： 小林さんは本当に何でも理解してしまうわけですね．

佐藤： みたいやったね．僕はそのときしか相談にあずかってないけど，いやそらあ影響あったんじゃない？　勝君が言うてるけども，ニュートリノの数なんてのはまだ種類の数が定まってないとかね，あれみんな小林君なんだよ．それを宇宙に応用すると，その数をパラメータにして元素合成をやってみるとかいう発想になるわけね．だからそれで勝君ずいぶん仕事したりしてるやん．僕はそれほど，その論文以外では小林通いはしてない．勝君はずいぶん世話になったんじゃないかな．

高橋： そのホーキングの論文の前に，ブラックホールのエントロピーとか温度とかの話があったわけですよね．

佐藤： うん，ベッケンシュタインとかね．

高橋： そのへんは，なんていうんですかね，最初に勉強すると非常に驚くというか，不思議な話ですけど，その当時からそんな感じで話題になってたんですか．

佐藤： なんかなってましたね．なにしろベッケンシュタインはジョン・ホイーラーの研究室で，ホイーラーが広告塔ですから，埋もれてるっていう感じじゃなかった．一番発信力のあるところにおったから．レモ・ルフィーニとの僕の本にも書いてある [3]．

高橋： ブラックホールにはエントロピーがあって，温度があって，しかも放射もするという…．それで佐藤さんも興味を持って．

佐藤： うん，それで僕は佐藤・前田っていう論文でホーキングと別な直観的なモデルでやり出した

んですよ [4]．ちょっとホーキングに対抗したみたいなのをやろうとしたんだけれども，それもあれやな，実らなかったな（笑）．富松・佐藤の最初の論文みたいに時々外すんだ（笑）．それ以後はあまり論文書いてない，そっちでは．

それで今でもはっきりしてないみたいやけど，ブラックホールが蒸発して完全になくなるのか，全部の情報を吸った何かが残るのか，ホーキングの論文では解かれてないんだけども，そういう究極問題みたいなのを提起しますよね．まあホーキングとキップ・ソーンの賭け事とかいうのはまあ簡単にいうとそういうこと．だから情報の問題だよ．

僕が最近いろんなものを書いてるのの論点の1つが量子力学なんだけど，日本でブラックホールが話題になったとき，ブラックホールっていうのは物質が縮んだもんやという．ところが1970年かなんかのジョン・ホイーラーとルフィーニのPhysics Todayに出た文章っていうのは，そんな物質が縮むという話よりは情報がなくなるかどうかというのが書いてありますね．インフォメーションロス．だから情報が電気線を伝わってくるときに，ディスターバンスが入って届かないというインフォメーションロスと同じで，イベントホライズンに入っちゃったら出てこられないから情報がなくなったんだと．中にあるのか知らんけど少なくとも外から情報にアクセスできなくなるということですよね．だから非常に論点が違うのね．日本で流行るのはとにかく物質がこんなんなったらどうなるんやろうみたいな力学的なのばっかりなんだ．

高橋：なるほど，ブラックホールに吸い込まれるものを物質と見るか，情報と見るか，っていうことですね．

佐藤：だからホーキングの理論も，蒸発して軽くなるとかばっかりじゃないんですね．量子とくっ付いたときは情報の話やと．ブラックホールは情報という問題を論ずる格好の問題だというふうに変わってきたんだけども，日本ではいつまでも物質の理論なんだね，あれ．だから今は量子情報，量子コンピュータとかバーッといっぱいやってるけども，そこの切り替えのところでほとんど日本人は仕事してないね．僕自身も引きずられてた．そういう力学とか物質の理論みたいな．あのホーキングの話が出てきて，エントロピー，温度，情報にアクセスできるかとかそういう語りに変わってきたから，それは非常に僕にとってはハッとするような話やったね．そういう視点ってなかったな．そのへんから芽生えてきて，量子重力になったときも物の相互作用の話とかいうよりは，元々量子力学というのは何だっけみたいなふうに原点回帰みたいなのがおこったという，それはまあ定年になったらだいたい考えることのフェーズが違ってくるからというのもあるけどね．

高橋：佐藤さんは量子力学関係の本をたくさん書かれてますよね．その辺の話は後々伺いたいと思います．

佐藤：あの頃，1975年くらいでジョン・ホイーラーもブラックホールから量子力学に変わってるのね．まあ定年ていうか，一応65かなんかくらいでプリンストンを辞めるんですね．それでテキサスに行った．テキサスっていうのはワイルドなところやからな，学問なんてなかった．だけどお金だけはあったわけね，石油で．で巨額を出して，テキサスのプリンストンを作るんだという，なんか地元が巨大なお金出すんやな．それでジョン・ホイーラーはプリンストンから，ワインバーグもハーバードから移るんやで．だからあのときなんぼもらったんだろう思って（笑）．

高橋：錚々たるメンバーですね．

佐藤：で，テキサスシンポジウムっていうのもそういう連中が始めた，そのお金の唸ってるところで．っていうのは，1960年代の初めくらいに，田舎大学だったテキサスにはメジャーな大学でポストが得られない人がたまってたのね．それが全部相対論やってた人で，1960年代の初めって相対論なんかやってたら就職ないという時期やった

から．素粒子やってなきゃダメなわけ．だからクェーサーが話題になった頃に，そんなど田舎でテキサスシンポジウムってやるんだよ．それはその後の学問の勢いとまさに当たってたわけやな．それでどんどん各地で開くということになった．

高橋： テキサスシンポジウムってそんなふうに始まったんですか．

佐藤： だからお金が唸ってたのと，一般相対論でPh.D取った人がいかに就職なかったかということ（笑）．

（第7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] Sato, K., & Sato, H., 1975, PTP, 54, 912; PT P., 54, 1564
[2] Sato, H., & Takahara, F., 1980, PTP., 64, 2029
[3] 佐藤文隆，レモ・ルフイーニ『ブラックホール』，1976, 中央公論新社
[4] Sato, H., & Maeda, K., 1978, PTP., 59, 1173

A Long Interview with Prof. Humitaka Sato [6]

Keitaro Takahashi

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

Abstract: This is the sixth article of the series of a long interview with Prof. Humitaka Sato. Continuing from the last article, he talks about his time as an associate professor at the Yukawa Institute for Theoretical Physics. In the 1970s, there was a major discovery in elementary particle physics called the quark revolution, and the current standard theory was being established. Concepts such as the Higgs boson and the phase transition of the vacuum, as well as the neutrino mass, have had an impact on astrophysics, and have greatly inspired Sato, who has made particle cosmology one of his main research topics along with general relativity. This time, we will hear in detail how astrophysics developed along with the discovery period of elementary particle physics.