

矮小銀河の進化と北米大陸ポスドク事情

村上 泉

<CITA, Univ. of Toronto, Toronto, Ontario M5S 1A7, Canada>

e-mail: murakami@cita.utoronto.ca

矮小銀河内のガスの進化にまわりの銀河間物質の圧力が影響を及ぼし、そのために星形成の歴史が環境によって異なることを、数値シミュレーションを用いて調べた研究についてと、筆者の北米でのポスドク生活とその競争社会にまつわる体験談を述べる。

1. 狭き門

トロントに来て1年半が過ぎてしまった。悲しいかな、次の秋からのポスドクの不採用通知がぼつぼつと送られてくる。自然科学のポスドクのような短期の研究職は国の経済状況にずいぶん影響されてしまう。今年は、最悪と言われた昨年と比べればポストの数はマシらしいが、倍率200倍以上の狭き門である。そこをくぐり抜けるには、実力だけではなく、人脈がやはりものを言うらしい。推薦者の、そして自分の、である。

最近はいろいろな形で外国へ出て研究をしている人もずいぶん多い。ポスドクとして外国に出て研究してみようかと思うあとに続く若手に何かの役にたてればと、多少当たり前に思える事もあるだろうが、こちらでのポスドク生活で思った点を、最近の研究に交えて書こうと思う。

2. 恐れるな

言わずもがな、言葉・文化の壁をである。壁を余計に高くしているのは、自分の意識に他ならない。昼食あるいはお茶の時間、話の輪に入れないのはヒジョーに辛い、めげてはいけない。どこでも声のデカイものが強いのだ。多少めちゃくちゃな英語でも、ちゃんと聞いてくれる。でも、ほとんど誤りを指摘してくれないので、上達するには別に努力が必要となる。良い友人を持ち、映画・本に親しみ、ヒアリングと語彙力のアップに努め…

(まるで受験勉強の標語だが…)

こちらの人は人に話しかけるのにまったく躊躇しない。たとえその目的とする相手が他の誰かと話をしようとも。自分の研究の売り込みにも余念がない。この手の事に躊躇してしまうのは、私個人の悪い性格なのかも知れないが、慎み深さ・謙譲の美德は何の役にも立たない。郷に入っては郷に従え、である。初対面の大物、偉い人にもアメリカ人はごく気軽に話しかけるが、ヨーロッパでは異なり、誰かの紹介がないとダメだそう。その辺りは文化の違いであろう。

ここCITAでは5人の教授陣と20人程度の国際色豊かなポスドク達が研究している。長期・短期のビジターも多い。英語が母国語かどうかはまるで関係なく、何ものをも恐れず、みな気軽に誰とでもどこでも大きな声で議論している。開放的なオフィスに自主性に任せられた研究。セミナー係などの多少の役割分担の他は何の義務もなく、各人に1台ワークステーションあるいはX端末があり、計算機環境は専任のシステムマネージャーがほとんど全て面倒を見てくれ、研究だけに専念できる整った環境。ポスドクどうしの共同研究も盛んだ。

3. 矮小銀河の進化と銀河間物質

私にA. Babulとの共同研究の話が持ち上がったのは、CITA恒例ジャンボリーの後だった。ここでは毎年ポスドクの何割かが入れ替わる為、ジャ

ンボリーと称して、自己紹介も兼ねた自分の研究紹介とこれから何をしたいかを話す4分間スピーチの発表会が行なわれる。私が話した、銀河団中の楕円銀河が銀河間物質に対して相対的に動いている事によって起こるガスのはぎ取りの話¹⁾に興味を持ち、じゃあこんなのはどうだろう、と議論が始まった。

矮小銀河はその浅い重力場のために、星形成は一度しか起こらないだろうと考えられている。最初の星形成で作られた星の超新星爆発が星間ガスに十分すぎるエネルギーを与えて、ガスはみんな銀河の外へ逃げていってしまい、次の星形成の材料が無くなってしまふからである²⁾。ところが、銀河団の中では、外に比べて矮小銀河が多く、これは、周りの環境が矮小銀河の星形成の歴史に影響を与えた結果ではないか、と考える事もできる。Babul & Rees (1992)³⁾は、銀河団の中では、銀河団内ガスの高い圧力が、矮小銀河からガスが逃げるのを妨げるので、矮小銀河は何回でも星形成を行えるだろう、と唱えた。一方、銀河団の外の矮小銀河はガスを失って星形成を繰り返せないの、年老いた星がどんどん暗くなってやがて見えなくなって行くだけだろう。

では、もし銀河団内の矮小銀河が他の普通の銀河と同じ様に動いていたら、どうなるだろうか？その運動で楕円銀河と同じくガスがはぎ取られてしまつて、結局、星形成は2度と起こらないのではないだろうか？解析的な取扱いが難しいこの問題を数値シミュレーションで調べてみたらどうだろうか？⁴⁾

3.1 モデル

なるべくシンプルなモデルで環境が矮小銀河に与える影響を調べる事にした。Babul & Rees に従い、矮小銀河は回転速度 35 km/s に相当する重力場を作る球対称なダークハーローを持つと仮定する。その半径は 9.3 kpc で、質量は 2.7×10^9 太陽質量とした。ガスの初期条件は、ダークハーローの 1/10 の質量で、温度 10^4 度のガスが、中心から

1 kpc の領域に一様に分布していると仮定した。この中心領域では、最初の世代の星による超新星爆発がエネルギーを 2 千万年 (2×10^7 年) の間だけ放出すると仮定する。これは最初の星々がバースト的に形成されて、それに続く超新星爆発もある期間だけ起こったらおしまい、と考える事ができるからである。効率などを考慮し、超新星爆発からガスに与えられるエネルギーは 4.8×10^{48} erg/yr とした。超新星爆発が止まった後に輻射冷却が有効に働くとは仮定する。

銀河の外側のガスは、ここでは3通り考える：圧力の低い場合 ($nT \sim 10^{-2}$)、圧力の高い場合 ($nT \sim 10^4$)、圧力が高くて ($nT \sim 10^4$) 千 km/s の風が一様に吹いている場合。圧力が高い場合は、 10^7 度で密度が 10^{-3}cm^{-3} の銀河団内ガスを想定している。千 km/s の速度は超音速流に相当する。

以上を2次元軸対称の数値計算を行って調べた。計算ではガスの自己重力は考慮していない。

3.2 計算結果

Babul & Rees が予想した通り、矮小銀河が周りのガスに対して相対的に動いていない場合、矮小銀河内のガスの進化は周りのガスの圧力に依存する。周りのガスの密度が低く温度が低いと、超新星爆発からエネルギーを得た星間物質は銀河から逃げ、膨張するガス殻を形成して外へ外へと伝播していく。また、銀河団内ガスのような高温で密度が高いガスが周りがあると、銀河から膨張するガス殻はあるところで止まってしまう。金属原子による輻射冷却が効いてガス殻は高密度になり、ガス殻の内側のガスは密度がまだ高い段階で急激に冷えて圧力が低くなるため、外側の高い圧力のガスによって膨張を止められたガス殻は、今度は銀河の中へ逆戻りしていく。そうして銀河に戻ってきたガスはまた次の星生成の材料となり、金属量の多い星が作られていく事になる。ガス殻の最大半径は、周りのガスの圧力と、超新星爆発によって星間物質に与えられるエネルギーに依存して決まる。ここで採用したモデルの場合最大半径は

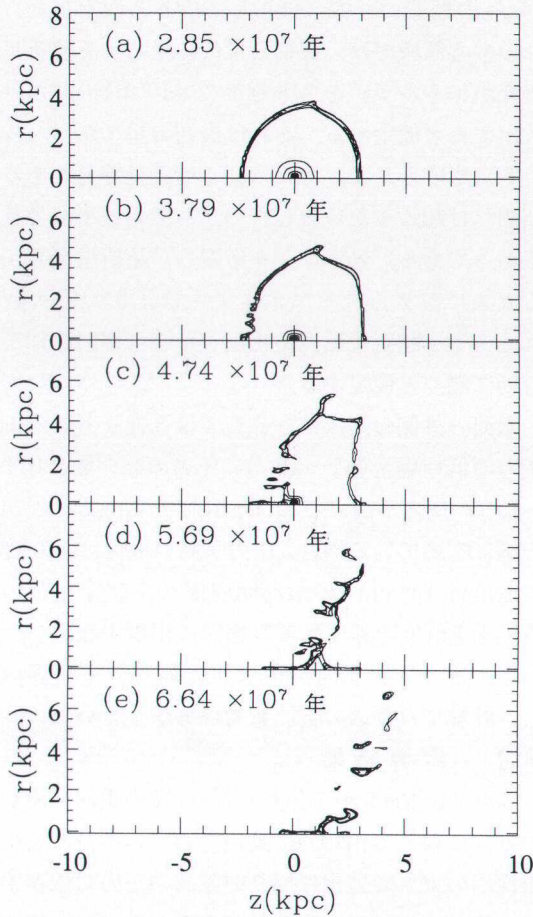


図1 密度が 0.1cm^{-3} 以上のガスの分布の時間変化。各時刻の対称軸 ($r=0\text{kpc}$ の z 軸) を含む面の断面上の密度分布を等密度曲線で表す。超音速流は図の左側から軸に平行に流れて来る。

5 kpc だった。

では、次に矮小銀河が動いて、相対的に風が吹いているとどうなるか。図1に対称軸を含む面での、 0.1cm^{-3} 以上の密度を持つガスの分布を示す。重力場が一番強い銀河の中心と、膨張するガス殻が見えている(図1a)。超新星爆発によって生じたガス殻は、前方(風上)からは超音速の風による動圧と弓状衝撃波で膨張を抑えられ、後方(風下)では回り込んだガスの流れが膨張を少し抑え、流れの方向とは直角方向に少し伸びた歪んだ形で膨張する。このガス殻は外側からの高温ガスによ

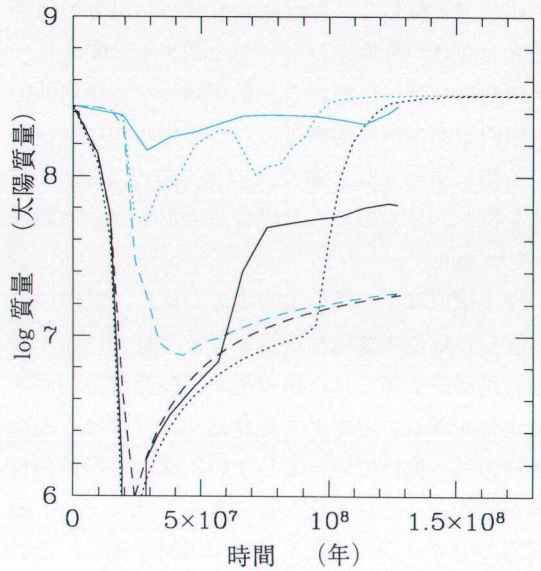


図2 高密度領域の質量の時間変化。黒線は密度が 1cm^{-3} 以上のガスの質量を、青線は密度が 0.1cm^{-3} 以上のもので、銀河間物質の圧力が低い場合(破線)、高い場合(点線)、圧力が高くて風がある場合(実線)をそれぞれ表す。(10⁸年は1億年。)2千万年のところで超新星爆発によるエネルギー供給が止まり、輻射冷却が効き出す。

る圧力と動圧、内側からの膨張しようとする動圧によって圧縮され、輻射冷却によって高密度となる。中心での超新星爆発が終わると、超音速風による動圧に対抗する力がなくなり、やがてガス殻はずぶずぶと壊されて(図1b, c)、いくつかの小さなガスの塊へと崩れていく(図1d)。このガス塊は風によって押されて(図1e)、最終的には銀河の外まで押し出されてしまう。そうすると、この場合は星形成はやはり1回きりになってしまうのだろうか？

図2に高密度領域のガスの質量の時間変化を示す。密度が 1cm^{-3} 以上のガスの質量変化を見ると、初め超新星爆発による加熱・膨張でガスの密度が下がるため質量は急激に減少し、後に輻射冷却が効いて高密度のガスが増えていく。銀河のど

く中心部に、輻射冷却と重力場によってガスが少しづつたまって密度が高くなっていく。その様子が、銀河間物質の圧力が低い場合にも見られる。そのガスの質量はあまり多くない。圧力が高い場合は、それに加え、膨張を止められたガス殻が銀河中心に逆戻りして、急激に高密度ガスが増加する（1億年のところ）。相対的な風がある場合は、ガス殻が崩れてできたガス塊が合体して（7千万年あたり）高密度を保ちながら風で銀河の外へ押し出されている。この塊が銀河の外に出るまでに数千万年あり、十分その前に次の星形成がこの高密度ガス塊で起こるのではないかと考えることができる。

ゆえに密度の高い銀河間物質の中にある矮小銀河は、動いていようが止まっていようが、複数回の星形成を行う事が可能であり、圧力の低い環境の中にある矮小銀河とは、進化の様子が異なることがわかった。

4. 目覚めよと呼ぶ声が聞こえ

銀河団中の矮小銀河は動いていても少なくとももう一度星形成が行えそうな事がわかり、ほぼ予想通りの結果が数値計算によって確かめられたのだが、もう一つ面白い事がこの数値計算の結果から予想できる。

コンタクトレンズを入れて修理されたハッブル宇宙望遠鏡⁶⁾は、やっと本来の性能を発揮して、遠くの銀河団の銀河の驚くべき情報を我々にもたらしている。地上からの観測では、遠くの銀河団ほど青い銀河が多いと言われていたが⁶⁾、どんな形の銀河が青いのか今まではわからなかった。ハッブル宇宙望遠鏡が見た遠くの銀河団の中の銀河は、多くが矮小銀河程度の大きさで、しかも形はへんてこりんな、楕円でも渦巻でもない形が多く、なかには彗星のように尾をたなびかせているようなものもある⁷⁾。

図1eを見てみよう。これは断面図なので、頭の中で対称軸を中心にぐるりと回転させてみると、

尾があるような形のガスの分布が出来上がる。この高密度ガスの中で星が出来たら、やはり同じような形に分布するであろう。しかも、尾の中のできる星は、銀河の中心にある最初に出来た星よりは若いので、もし星の色分布が観測できるなら、“彗星”状の頭の部分は赤くて尾の部分は青い星となるはずである。残念ながらそのような観測はハッブル宇宙望遠鏡に赤外用の観測装置が取り付けられるまで待たなければならないが、さらに、そういう変な星の分布は一過的なモノで、現在に至るまでにダークハーローの重力場で楕円分布へと変化するかもしれないし、他の銀河と合体するかもしれない。現在の矮小銀河に見つからなくてもそう不思議はないだろう。つまり、遠くの銀河団の中でだけ暗くて小さい彗星状の銀河が存在するのだ。

おお、なんて素晴らしい、と思わず自画自賛してしまった結果なのだが、きちんと論文にして発表しなければ、ただの妄想、と未完成原稿を目の前にして現実世界へと意識は引き戻される。それにしても、やはりコネクションによる情報があればこそ、とれたての最新の観測結果が聞けて、自分の研究に結び付けることができるのだと、人の利・地の利の大切さをしみじみと感じる。

5. 主よ人の望みの喜びよ

さて、競争社会の狭き門をくぐるための知恵として、目撃あるいは体験した事、関連して感じた事をいくつかここに書こうと思う。日本においても同じ事が言えるかもしれない。当たり前すぎて誰も語らなかった事かもしれないが、体験談として聞いて頂きたい。何かの役に立てばと願う。

いろいろな点において知名度と知人を持つ事はやっぱり大切に、名前および自分の研究を売り込む事は、職を得るためだけではなくその後の研究活動にも大いに役立つはず。それには、なるべく小規模な研究会、ワークショップに出かけて、へたな英語でもいいから口頭発表をし、いろいろな

人と話すことである。熱意は伝わるし、聴衆はフレンドリーである。もちろん発表の準備は十二分に行わなければならない。私は口頭発表をする時は発表用の原稿も用意するのだが、残念ながら発表している最中には読めたためしがなく、OHPと記憶が頼りで、いつも満足な発表にはほど遠かったが、それでも内容は伝わっていたようだ。ところで、口頭発表について聞いた話だが、アメリカ人は一種のパフォーマンスを発表に期待するらしいが、日本人のは真面目すぎるようだ。ゴールは遠い…。さて、大きな研究会、国際コンファレンスの類は、口頭発表の機会が得にくい事に加え、英語の発表のプレッシャーは大きすぎるが、その点、小さなものと多少気が楽である。大きな研究会でも、ポスター発表だと1対1でもっと気楽だが、客を捕まえるのも一苦勞であるし、なかなか人と話す機会を作りにくい。

アメリカ天文学会の1月の年会は大規模なジョブマーケットとして、多くの教授たちや大学院生・ポストドクがアメリカ中から、ヨーロッパからも集まる。学会側も求人用のオフィシャルな掲示板を学会期間中設定し、求人・求職者を履歴書と共に登録、面接などの告知や時刻設定にも役立たせている。しかしながら、実際には求人の情報は年会に来なくてもほとんど手に入れる事ができるし、公に面接を設定・実行する大学・研究所はぜひぶん少ない。特に理論系はほとんど無いと言っても言い過ぎではない。公に行われるものにはほとんど期待できない。事前の連絡で個人的に面接を設定して貰えば話は別であるが、また1,2千人規模の年会で5,6の平行セッションでの口頭発表、ポスター発表がどれだけ効果を持つのかも疑問だ。それでも学位論文の発表者は15分という一般の5分より長い口頭発表が許されており、そういう大学院生の発表は多い。

もっとも効果的なのは、直接その大学・研究所へ出かけてセミナーで話させて貰う事である。自分の研究をたっぷり話せるし、セミナーの前後に

そこの人たちとゆっくり話をする事だってできる。うちの研究所にも、いろいろな所から人が来てセミナーで話をして行った。9月から12月、ポストドクの応募期限の前まで、一時期は週2回のペースでセミナーが開かれたが、現金な事に1月になるとばたっと外部からのスピーカーは来なくなる。知り合いのある大学院生は12月までにいくつもの研究所を回ってセミナーで発表をしたと言っていた。まるで巡業講演のようだ。

これらの努力と結果との間にどれだけ相関があるかは何も言えないが、まったく相関が無いわけではなさそうである。しかしながら、日本から実行するのは経済的にほとんど不可能だ。では、外国で研究したいと思った時、日本から何が出来るかだが、私の場合、トロントに来る1年前の夏にアメリカのワイオミングで開かれたサマースクールに参加して、現在のポストと多少なりとも話す機会が得られた事がここへ来る助けになっただろうと想像している。そのサマースクールには井上科学財団のご援助のおかげで参加できた。最初のきっかけを作るのには、このサマースクールのようなインフォーマルなものに参加して、いろいろな人と話をするのが一つの手ではないだろうか。もちろん、研究会などで日本にやってくる外国人研究者と仲良くなってコネクションを作っても良からう。

一方で、売り込んでばかりではなく足元の自分の研究を地道に行う事ももちろん大切なのは言うまでもない。独自性のある研究を行ない、いろいろな人と英語で共同研究を推進させ、着実にキャリアを積んでゆかなければ、見かけだおしの空虚なハリボテではいずれは崩れ果ててしまうし、競争社会のピラミッドを登ってゆく事もできない。(ああ、耳が痛いぜ)。この研究所のポストドク達も、みな2,3年でよそへ移らねばならない。2年は短い。やっと落ちついて研究を、と思ったらあっという間に次の応募を始めなければならない。着実に目に見える成果を出すためには、短期

のポストクの間はあまり大がかりなプロジェクトには手を出さず、すぐ論文にまとめられるような研究をした方が良いとも聞いた。また、いろいろな人と共同研究をすれば、推薦書もお願いできるというオマケ付きだ。皆まじめにたくさんの論文を産出している。

さて、最後に。機会均等男女同権をうたって、女性やマイノリティからの応募を推奨しているところが多いが、ヨーロッパに比べて、アメリカ大陸はまだ女性の研究者の割合が低い。女性が少ないので女性を採用しなければならない、というのは、男性に対する逆差別だ、という声も聞いた事があるが、まだまだ物理・天文の世界はそれには当たらないと思う。日本からみれば女性が多い先進国のアメリカでも、女性に対する風当たりは強い。ある会合のおり、「みんな何度も悔し涙に枕を濡らしてそして強くなっていくのよ」と言ってくれた人がいた。そうやって道を切り開いて頑張っているセンパイたちを見て、私もガンバラねばと励まされる。女性だからと余計に肩肘をはることなく皆が研究できればとも願う。

さあ、地道に努力して研究も売り込みも行ったならば、あとは大いなる野望を心に隠し、研究し続けられる環境をと小さな望みを天に祈り、雪の

残る大地にそびえ立つCNタワーの先からサーチライトで照らされた明るいトロントの星空を仰ぎ見れば、そこにはもう春の星座が…

参 考 文 献

- 1) Murakami, I. & Umemura, M., 1994, submitted to *Astrophys. J.*
- 2) DekeI, A. & Silk, J., 1986, *Astrophys. J.*, 303, 39
- 3) Babul, A. & Rees, M.J., 1992, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 255, 346
- 4) Murakami, I. & Babul, A., 1995, in preparation
- 5) 傳田紀代美, 1994, 天文月報, 87, 207
- 6) Butcher, H. & Oemler, A., Jr., 1978, *Astrophys. J.*, 226, 559; 1984, *Astrophys. J.*, 285, 426
- 7) Dickinson, M., 1994, private communication:
(URL)<http://www.stsci.edu/EPA/1994.html> #
YoungGalaxies

Evolution of Dwarf Galaxies and Something on Post-docs in North America

Izumi MURAKAMI

Canadian Inst. Theor. Astrophys.

Abstract: Evolution of dwarf galaxies is dependent on their environment, especially on the pressure of ambient matter. The effect of external medium on gas escaping from a dwarf galaxy is examined with hydrodynamical calculations. I also describe what I feel as a postdoc in North America from different background of culture.



夜明けのドーム
「遥かなる宇宙」より
日本天文学会©