

WMAP とプリンストンでの 4 年間を ふりかえって (1) — 目指せ、WMAP チーム潜入！

小松 英一郎

〈Department of Astronomy, The University of Texas at Austin〉

e-mail: komatsu@astro.as.utexas.edu

はじめに

このたび、日本天文学会研究奨励賞を受賞させていただきたいへん光栄に感じています。本来であれば、ここでは受賞の対象となった WMAP の初年度の成果をまとめた記事を書くのですが、すでに 2003 年の天文月報¹⁾に書いたこともあり、ここでは前回の記事では触れなかったことや、WMAP にかかわるようになった経緯、プリンストンでの研究生活などを書くこととなりました。こんな個人的なことばかり書いて良いのだろうかという疑問もありますが、せつかくの機会なので遠慮なく書いてみようと思います。これからアメリカの大学で研究してみたいと思われる方、WMAP のちょっとした舞台裏に興味のある方に少しでも楽しんでもらえれば幸いです。ただ、記事の性格上、どうしても内輪受け、あるいは自己満足にしか見えない部分もあるかと思いますが、どうか笑ってご容赦ください。また、英語で書かれていますが、WMAP の打ち上げから結果発表に至るまでの詳しい様子が一冊の本になって出版されています²⁾。舞台裏に興味のある方は是非ご一読ください。

1. プリンストンへ行く

1.1 どうしてプリンストン？

東北大学の学部生の頃、何となくアメリカの大

学院に行くのもいいかな(かっこいいし)、と適当に思っていたのですが、それが現実味を帯びてきたのは修士 1 年生のはじめ頃(1998 年)です。私の専門は宇宙論なのですが、学部 3 年生の時に竹内 峯教授(東北大学名誉教授; 当時のご退官される少し前)の指導のもと行われていたセミナーでトピックに宇宙論を選んだことをきっかけに興味をもつようになりました。その影響で 4 年生から二間瀬敏史教授(東北大学)のもと本格的に宇宙論の勉強を始めたのですが、当時二間瀬さんが宇宙背景放射(CMB)に興味をもっていたので自然とそれに特化したゼミをするようになり、二間瀬さんのスパルタゼミで鍛えられているうちにどうやらアメリカの MAP(後の WMAP)、ヨーロッパ連合の COBRAS/SAMBA(後の Planck)という人工衛星が数年後に打ち上がり、CMB のゆらぎのパワースペクトルが高精度で測定され、それを使えばバリオンやダークマターの存在量からハッブル定数といった宇宙論パラメーターが全部決まってしまうらしい、ということがわかってきました。

日本では CMB ゆらぎの観測は皆無です。松尾宏助教授(国立天文台)が野辺山ミリ波干渉計を使い、1 分角以下のゆらぎを測定する、という現在でもたいへんチャレンジングな観測をされていましたが、宇宙論パラメーターを高精度で測定するには人工衛星の全天サーベイが不可欠です。一

方、杉山 直教授（国立天文台）の一連の研究に代表されるようにハイクオリティーな理論研究は日本でも行われていましたが、私の中では“観測プロジェクトが進んでいる現場に行ってみる”、“観測データを自分でいじって、自分でCMBのゆらぎを見てみたい”、そして“実際に宇宙論を決めてみたい”、という野望が強くなっていき、日本ではそれが不可能だったので海外に目を向けたわけです。

さて、海外に行きたいと思ったのは良いとしても、どうすればいいのか？ 二間瀬さんに相談しに行くと、その場で海外行きに心よく賛成していただき（ありがたいことです）、具体的に“どこに行くか”を絞り込むことになりました。CMB業界といえば杉山さんの庭。杉山さんに相談した結果、カリフォルニア大学バークレー校が一番良い、ということでした。バークレーと言えば1990年代半ばに華やかにCMBの研究をリードしていた場所で、Joseph Silk教授といった大御所や、当時海外学振をされていた杉山さん、Martin White, Wayne Huといった若手研究者がアクティブに“CMBから何が学べるか”を研究されていました。バークレーから山のように出版されていた論文を毎日読みまくっているうちに自然と“バークレーってかっこええなあ。”と思っていたので、これは願ったり叶ったりです。とは言え、こちらはしががない修士課程の学生。全く無力なので、二間瀬さんと杉山さんからSilkにメールを書いていただくことになりました。返事は“こちらでお金のサポートをすることはできないが、日本からサポートを受けて受託院生として来る分には構わない”、というような感じだったと思います。日本からのサポートというのは、要するにDC学振のことです。“学振さえ取ればバークレーに行ける！”

DC学振の申請書類の研究計画には、「MAPのデータを使って宇宙論パラメーターを決める」だの、「インフレーション理論を決める」だの、無謀なことばかり書きましたが、ハッターが効いたら

しく何とか通り、大きなバリエーションがクリアされました。この学振に落ちていたら、MAPにかかわることもなく全く違った研究人生を歩んでいたはずで、今から考えても重要な一歩です。その後、Silkを含めてCMBの研究をしていた人々が続々とバークレーから去ることがわかり、それならばバークレーよりもMAPに直接かかわっているプリンストン大学の方が良からう、と方針転換し、杉山さんと須藤 靖助教授（東京大学）にお願いしてプリンストンのDavid Spergel教授に手紙を書いていただき、“学振があるのなら問題なし”と返事をもらったことで、プリンストン行きが決まったわけです。

1.2 アメリカの大学院に行く

ところで、アメリカの大学院に正式に入学するには、もちろんちゃんとしたアプリケーションを書かねばなりません。TOEFL (Test of English as a Foreign Language) と、あと GRE (Graduate Record Examinations) と呼ばれる試験で一定の成績をおさめ、そのスコアとエッセイ（大学院に入学したら何がしたいかなどを書いたもの）のできと、推薦書（通常3通）に基づいて合否が決まります。晴れて合格すれば、その大学院で授業を受け、研究し、博士論文を書いて学位を取得するわけです。日本の学部を卒業して、その後すぐアメリカの大学院に進学したい場合はこのルートが自然だと思います。

一方、いったん日本の大学院に進学し、途中でアメリカの大学院に行きたくなった場合ですが、この場合二つオプションがあるように思います。一つは、アメリカの大学院に“入り直す”こと。アメリカの大学院は5年一貫課程が通例のようなので、日本で2年の修士課程を終えてアメリカで3年の博士課程を始める、ということにはならず、修士からやり直すこととなります。（大学院によってシステムは違うかもしれませんが。）もう一つのルートは、私のケースがそうですが、受託院生 (Visiting Student) として行く方法です。これだ

と正式な所属は日本の大学となり、学位も（アメリカの大学ではなく）日本の所属大学から受け取ります。しかし、金銭的なサポートさえ問題がなければ、試験もなければアプリケーションもなく（TOEFLさえ受けることなく!!）、受入先さえイエスと言えば驚くほど簡単に渡米が可能です。ただ、（大学によって違うかもしれませんが）学位の取れない受託院生にもかかわらず、アメリカの大学にもフルに学費を払わねばなりません。もし私が日本で受託院生をした場合には東北大学にのみ学費を払うわけですが、プリンストンでは東北大学とプリンストンに二重に払わねばなりませんでした。幸いにしてアメリカでは大学院生が自腹で学費を払う、という状況はまずないので（学部や受入教官のグラントから支払われるのが通例）実際に問題になることはないのですが、事前に受入先に確認した方が良いでしょう。私立であるプリンストンは学費が年間25,000ドル程度、州立のテキサス大学でも年間6,800ドル程度と日本の大学と比べれば高額ですが、自腹ではないので本当に助かります。正規の学生であれば、学費に加えて多少の生活費まで援助されるのが通例なので（ティーチングアシスタントをして給料をもらう、あるいは指導教官のグラントから支給されるなど）、学生が研究に集中できる環境は整っていると言えます。一方、日本の大学の入学金免除制度は対象が非常に限られていますし、奨学金も所詮借金なので、単純に比較してもアメリカのシステムの方が大学院生にはるかに優しいと言えます。

蛇足ですが、長期（3カ月以上）の渡米となるわけですからビザが必要です。正規学生や受託院生で行く場合は学生ビザ（Fビザ）、ポスドクで行く場合は交換交流ビザ（Jビザ）、ポスドク期間が3年を超えたりアメリカで就職が決まったりした場合には短期就労ビザ（Hビザ）が必要となり、それぞれに対して大学からビザ申請に必要な書類を発行してもらいます。ただ、こういう書類発行は（どういうわけか）非常に時間がかかるため、渡米

が決まりしだい受入先大学に発行をお願いした方が良いでしょう。

2. MAP チームに参入するまで

2.1 ああ格闘のプリンストン生活

プリンストンに渡ったのは1999年の10月でした。当時予定されていたMAPの打ち上げはわずか1年後の2000年末だったので、常識的に考えれば、これからMAPチームに入るのは無理ですよ。渡米前によく言われましたし、正直自分でもそう思っていました。それにもかかわらずプリンストンに行くことを決心したのは、David Spergelからのメール中の一言：「君が一生懸命がんばれば、MAPチームに入るチャンスがある」でした。そうは言っても打ち上げのたった一年前だし、普通に考えたらそんな甘い話はありません。普通には「がんばればチャンスがある」ならゼロでない有限のチャンスがあるんだし、日本にいたらチャンスはゼロなので、そんならいっちょがんばってみようか、と思ったわけです。

初めてのアメリカ生活は、やはりたいへんでした。何もアメリカに限ったことではなく、海外生活を始めたばかりというのは何かとたいへんなものだと思います。言葉がわからないとか文化が違うとか、そんなことは行く前からわかっている当たり前のことですが、わかっているも1週間、1カ月、半年と生活していくうちダメージがポディーブローのように効いてきます。“生活”は日常生活と研究生活の両方ですが、日常生活のダメージは主に言葉の壁から、研究生活のダメージは将来への不安からでした。言葉の方はあえて言うまでもないでしょうから他の面での切ない話をしますと、Visiting studentというのは儂いポジションで、基本的に1年更新です。つまり極端な話、1年間でDavidが「小松英一郎は見込みなし」と判断すれば日本に帰らざるをえなくなるわけです。（これも正規入学の院生と異なる点です。）さらに、「がんばればチャンスがある」とか言われて

いたわけなので、それこそ毎日が一喜一憂。彼は忙しい人なので、少ないミーティングのチャンスを使って研究の打ち合わせをするものの、言葉の壁とか研究そのもので行き詰まって打ち合わせが進まないと、“ああ、自分がんばりが足りへんなー。やっぱり来年はMAP あきらめて日本に帰るのかなー。”とか、勝手にブルースパイラルに落ち込むことも。まあ、そんなのは結局全部杞憂だったわけで、そんな杞憂は同じ大学院生と酒でも飲んで発散してれば良かったわけですが、これもまた言葉の壁と、当時のプリンストンの学生間で酒を飲む習慣がなかったこともあってままたまならず、悶々とした日々を過ごすこともありました。短期間なら気合で乗り切れますが、長期間そんな状態が続くとなかなかしんどいです。

さて、小松英一郎はなんでこんなダークなことばかり書くのか、プリンストンに恨みでもあるのか、といぶかる方もいらっしゃると思いますが、海外の研究機関に行ったばかりの最初の1年くらいは、どこに行こうとまず言葉に慣れ、人に慣れ、文化に慣れ、指導教官や同僚との信頼関係を築くので精一杯というのが普通じゃないかと思うのです*1。最初の1年は修行だと覚悟して、へこんでもそれで普通だと割り切らないとやってられません。ただ、もし言葉の壁があっても、3年なら3年なり一定の期間が保障されたポジション（例えば正規学生やポスドク）であれば、精神的にもう少し楽だったのかもしれませんが。結局、Visiting student というイバラの道を選んでしまったのが苦労の始まりだったわけですが、精神的にタフになった気がするし、かえて良かったみたいです。なんせ、その後もっと苦労することになるのですから。

それはともかく、プリンストン生活は、プリンストンにゆかりのある人たちは皆同意すると思うのですが、研究するには最高の場所です。天文に

限って言えば、プリンストンの天体物理だけでなく、物理学科および高等研究所 (IAS) とも関係が密なので、議論する人には事欠かないし、毎日のようにセミナーはあるし、こちらから行かなくても（日本人を含めて）著名な研究者から元気のいい若手研究者まで頻繁にプリンストンを訪れるので、活気があります。また、この点も皆同意すると思うのですが、プリンストンはとても小さな街なので、研究以外に何もやることがないのも研究に適した環境をつくっているのでしょうか。善し悪しは別として(笑)……と、悪口ばかり言っているようですが、イヤよイヤよなんとやらで、私は結構プリンストンが好きです。1年目は相当きつかったですが、2年目くらいから慣れてきてエンジョイし始めました。苦労しても、学生時代の一時期をプリンストンのようなところで過ごせたことは貴重な財産なのだと思います。

2.2 MAP 打ち上げ

最初の1年が過ぎ去り、予定されていたMAPの打ち上げの時期が近づいても、MAP チームに入れてあげるよ、とかいう話がありません。しかし、MAPの打ち上げが(運良く?)半年延び、翌年もプリンストンにいて良いと言われたこともあって自分にも少し余裕ができました。プライベート面でも、結婚して妻がプリンストンに来てくれたおかげでかなり落ち着き、研究の面でも、私がMAPのデータを使ってやることになってきたCMBの統計的性質(ガウシアン性)の研究を含めていくつか論文を書くこともでき、またMAPにどっぷりつかっていないことがかえてCMB以外の共同研究を広げることもつながり、ようやくプリンストンの研究ライフをエンジョイし始めたのがこの頃です。1年間の苦労も報われるというものです(涙)。

予定より半年遅れはしたものの、MAPの打ち上げは2001年6月30日に無事に行われ、まだ

*1 普通だと言ってください。

MAP チームに入ってはいませんでした。フロリダ州ケープカナベラルの打ち上げ基地に招待してもらって妻とともに感動しつつ打ち上げを見守りました。もし打ち上げが失敗したらその場で目標を失ってしまうので緊張のひとつときでしたが、無論私なんかよりも MAP をゼロから作りあげた MAP チームの中心メンバーの緊張たるや想像を絶するものがあるわけです。無事に MAP が打ち上げられた直後、筆頭研究者の Charles Bennett はほっとしたのか体調を崩し、入院してしまったそうです。

同年 8 月、アメリカのカリキュラム（日本は 4 月～3 月サイクルですが、アメリカは 9 月～8 月サイクル）に合わせる必要があったので、半年早めて博士号を取りにいったん東北大学に戻りました。無事に博士号を得て一通り飲んだくれた後、さあ 9 月からプリンストンでポスドクだ、もう Visiting student じゃないぞ！ 出世！ 出世！ と再渡米の準備をしていたら、あの事件が……9 月 11 日、ワールドトレードセンターに飛行機が突っ込み、テレビの画面で炎上して崩れ去るツインタワーをボーゼンと眺め、テロだとわかっても事の重大さが実感できず、とりあえず思ったことは身勝手ながら“果たして自分は再び渡米できるのか？”。結局再渡米は 10 月までずれ込み、厳戒態勢のニューアーク (Newark) 国際空港を通過して、何とかプリンストンにたどり着きました。

さて、打ち上げは成功しましたが、MAP は地球の周りを回る軌道ではなく第二ラグランジュ点を回るため、3 カ月かけてラグランジュ点に行かねばなりません。（第二ラグランジュ点までの距離は、月までの距離の 4 倍。）その間、衛星の安定性やレシーバーの熱的性質とノイズレベルのモニターといった基本的な作業が行われ、David から MAP は元気でやってるとか、今どこにいるとか

話はいろいろ聞くものの、いっこうにチームに入れてあげるという話になりません。後から知ったのですが、ここにきてチームに人を加えるのには、David 以外はみな消極的だったようです。なかでも筆頭研究者の Charles Bennett は最後まで反対したらしく、打ち上げが終わってデータ取得が始まってはまだチームに入れてもらえませんでした。もちろん、彼のリアクションは全く当然です。一番しんどい打ち上げが終わってから新参者を加えるなんて誰だっていやでしょうし、筆頭研究者ならなおさらです。ではなぜ、David はあえて人を増やしたかったのでしょうか。どこの馬の骨ともわからない日本人大学院生を取ってまで、どうして人を増やす必要があったのか。答えは実に単純で、MAP チームは明らかに人手不足だったのです！ 彼には最初からわかっていたのです。“このままでは、NASA に設定された期限までに、データ解析と論文の執筆が絶対に間に合わない”と。人を増やすにしても、ゼロから育てている時間はないので即戦力が必要でした。そこへたまたま、“CMB ラブ！ いっぱい勉強したから MAP に入れて！”と飛び込んできたこの日本人は、飛んで火にいる夏の虫。プロ野球でも、シーズン半ばで即戦力を取るには外国から輸入するのが安くて確実なわけで、杉山さんや須藤さんの推薦書（＝スカウティングレポート）を読んで、こいつは働きそうだと思ったのでしょうか。もちろんそのままでは厳しい MAP のデータ解析に耐えられるか未知数なので、“がんばれば MAP に入れてあげる（かも）”なんて感じでハッパをかけた、というわけです。

私のほか、プリンストンの天体物理のポスドク Licia Verde、大学院生 Hiranya Peiris が新たに加わり、1 年目の MAP サイエンスチームとなりました*2。余談ですが、チームに加わる際、秘密の保

*2 初年度のサイエンスチーム：C. Barnes, C. Bennett (PI), M. Halpern, R. Hill, G. Hinshaw, N. Jarosik, A. Kogut, 小松英一郎, M. Limon, S. Meyer, N. Odegard, L. Page, H. Peiris, D. Spergel, G. Tucker, L. Verde, J. Weiland, E. Wollack, E. Wright

守や論文を書く際のガイドラインに関する書類にサインをしました。血判でサインしろとかいう笑えない冗談もありましたが、ガイドラインは数ページに及び、ややオーバーなまでの気の使いようです。MAPのメンバーの多くはCOBEのDMR（CMBのゆらぎを初めて検出した装置）からのメンバーですが、DMRの成果をめぐってある“事件”があり、その教訓もあって、メンバーを加える際に随分慎重になったようです。なにはともあれ書類にサインし、やっとチームに参入することができました。そして、本当の苦労はここから始まるのでした。

3. MAP データ解析の舞台裏（序章）

3.1 “チームワーク”ということ

正式にMAPの一員になって最初のチームミーティング、デビュー戦がやってきました。MAPはプリンストン大学とNASAゴダード航空センターの共同プロジェクトです。プリンストン（ニュージャージー州）とゴダード（メリーランド州）の間は車で3時間程度ですが、ほかにもUCLA、UBC、シカゴ大学に一人ずつチームメンバーがいるため、毎月1度チームメンバーが全員集合してミーティングを開き、1カ月間のデータ解析の進み具合を報告します。プリンストンの見知った顔を除けば、私たち新メンバーとしては全員が初対面なので緊張です。新参者なので肩身狭いですし、自分たちが特に望まれてもいないことがぶーんと伝わってきて寂しい思いをしたのをよく憶えています。1日がかりのミーティングで私がしゃべった時間はたった10分。疲れたデビュー戦でした。

チームでプロジェクトを遂行するには、何と

いってもメンバー同士の信頼関係が重要です。MAPのようにメンバー全員集めても20人くらいしかいない小さなチームだと一人一人にかかる責任が重く、信頼関係の重要性は増します。メンバーをとりまとめるのは筆頭研究者 Charles Bennett の仕事ですが、その本人が（その時は知りませんでした）私たちをチームに入れることに最も消極的で、信頼関係が最低レベルなところからスタートするのですからキツイわけです^{*3}。自分たちのためにも、そして自分たちをチームに入れてくれた David のためにも、“こいつらを入れて良かった”とメンバーに思ってもらえるよう信頼を得るところからスタートです。さらに悪いことに、私には言葉の壁がありました。プリンストンに来て2年以上経過していたわけですが、そんなんじゃまだまだ、ネイティブスピーカー同士のグループディスカッションに耐えうる英語はしゃべれません^{*4}。ただでさえ私の言うことなんか聞きたくない人たちの前で、聞きにくいであろうジャパニーズアクセントでしゃべる……。これは両者にとって不幸です！ こういうときたいいどうしたかと言うと、私が一通りしゃべった後、David Spergel が通訳します（笑）^{*5}。彼の言うことはみんな聞くし、理解できるからです。そして、彼に対して他のメンバーが質問し、彼がそれに答えるか、もしくは彼が私に再質問し、私が答え、彼が通訳し、という、実にややこしいプロセスを踏みます。今ではさすがにそんなことはしなくて良いようになりましたが^{*6}、当時はこれで精一杯でした。

言葉もそうですが、自分に与えられた役割に関心をもってもらい、信頼してもらうのも一苦労です。ともすれば忘れられがちですが、MAPの最

^{*3} 初年度の苦労を共にし、Chuck と私は今は仲良し（Chuck は Charles の愛称）。

^{*4} 普通です。普通だと言ってください。

^{*5} David Spergel は今やジャパニーズアクセントを完璧に理解します。

^{*6} 英語力の向上ではなく、MAP チームがジャパニーズアクセントを理解するようになったことと、私も話を聞いてもらえるようになったから。

大の目標、成果・財産は正確な CMB のマップとそのパワースペクトルの測定で、それ以上でもそれ以下でもありません。そして、そのデータを“できるだけ早く”一般の研究者が使えるように公表することです。NASA から設定された締め切りを守るためにメンバーは力を合わせてデータ解析をしますが、得られたデータから宇宙論の情報を引き出すのは優先順位としては下でした。極端に言えば、MAP チームがデータを供給するから、宇宙論は他の人にやっていただいて結構、というのも選択肢のうちだったのです。これは何も特異なことではなくて、データで先に論文を書いて解釈を後に回すのは観測プロジェクトにはよくあることですし、宇宙論コミュニティにとっても早期のデータリリースが望ましいのは自明です。「宇宙論まで全部うちらでやるんや！」と本気で思っていたのはおそらく David だけだったと思います。彼が人手が足りないと思っていたのはそのせいで、宇宙論にかかわるデータ解析（ガウシアン性のテストや宇宙論パラメーターの測定、インフレーションの検証など）が David ただ一人に委ねられていたからなのです。その他、チームの大多数のメンバーは宇宙論よりもデータそのものに細心の注意を払っているのです（当然のことです）、ミーティングの最初の方では私たちがいくら宇宙論の話をして結果の報告をしてもあまり注意を払ってもらえず、David が「ここ重要！」と言って初めて少し注意を払ってもらえる、というような感じでした。まあ、正直そういうのはへこみますし、当時は私も“宇宙論の決定こそが MAP にとって最も重要なことなのに、何やねん！”とか思っていました。それはとても自分勝手に青い考えです。当たり前ですが、これはチームワーク。マップの作成に全身全霊を注ぐ人、レシーバーのゲイン変動のことなら何でも知っている人、MAP のビームの測定に命をかける人、パワースペクトルの測定に責任をもつ人、などなど、みんなが自分の仕事を着実にこなして、初め

て歯車がちゃんと回るので。事実、20 人そこらのチームに仕事を割り振ると、一人一人の責任は本当に重くなります。時には、一人の仕事が滞ったためにすべてがストップしてしまうこともあるので、自分の仕事に精一杯でとても他のことに頭を使っている余裕がないこともよくあります。例えば、ビームの測定に命をかけていた Lyman Page は、ビームのモデリングが少し遅れてパワースペクトルの測定が遅れたとき、それこそ目を血走らせ、死にそうになりながらビームの解析をしていました。

データ解析が終盤になると、議論の中心が宇宙論にシフトしたこともあって私たちがミーティングで話す時間も長くなり、やっとチームの一員になれた（ルーキーや、トレードや FA で移籍した野球選手がよく言うことですが）気がしたものでした。信頼してもらえ、必要としてもらえるのはやっぱりうれしいことです。このような大型のプロジェクトの中で仕事をして、筆頭研究者がみんなをうまく束ねる姿を見、チームワークや信頼関係の大切さを学ぶことができ、とても良い経験でした。

4. 来月へつづく……

貴重な天文月報の紙面を 2 カ月分も使って、これ以上何を書くつもりだとお怒りの方もいらっしゃると思いますが、ほんと申しわけないです。個人的な話は今回で終わり、次回は WMAP のデータ解析がどのように進んでいったか、興奮と紆余曲折、最後の修羅場など、私の目から見た舞台裏を書かせていただく予定です。内容も宇宙論ばかりになります。

プリンストンの 4 年間で振り返って思うことは、“思いきって飛び込んでみて良かった”に尽きます。しかし、「もし WMAP という明確な目標がなかったら、果たしてアメリカでの研究生活をがんばり抜けたのだろうか」と考えると、多分ががんばり抜けなかったと思います。もし、現在日本で大

