

プリンストン大学

高部英明

大阪大学 IPC

【プリンストン大学に4/3-4/6と滞在した際、物理の教務主任のGregと2時間程度話した内容を中心にまとめた。急ぐ方は下記の4段落目から読んでください。参考意見やコメントなど、takabe@ile.osaka-u.ac.jpにお送り下さい。歓迎します。】

今回の米国出張の起こりは、昨夏、北京の国家天文台で開催した磁気リコネクションに関する打ち合わせに、プリンストン大学で長年、この実験をしてきた Hantao Ji が出席していた事による。大型レーザーを用いた磁場生成やそのトポロジーの変化、高エネルギー粒子の発生など、最近、研究が急速に進展してきた。北京では、その実験を阪大で行うための議論をした。その際、AIU (国際天文連合) 総会出席で来ていた Hantao が参加し、沢山の有益な意見をくれた。最後に彼が「大型レーザーでの磁気リコネクションが今、英国、仏国、中国、日本、米国で開始されつつある。その関係者を4月にプリンストンに集め、情報交換と国際共同の動きを議論しよう」と提案し、私も大賛成した。会議での発表資料はすでに以下からダウンロード出来る。

<http://mr.x.pppl.gov/Meeting/Princeton-Apr2013/>

プリンストン大学には世界で一番有名な PPPL (プリンストン・プラズマ物理研究所) がある。Lyman Spitzer (Fig. 1) というプラズマ物理の創始者で、ハッブル宇宙望遠鏡の提案者でもある彼が、磁場核融合を米国で開始した核融合研究の聖地である (Fig. 2)。かつては TFTR という 2000 億円はする大型のトカマク装置で核融合の実証もした。私は学生時代から PPPL は知っていたが、訪ねるのは初めてである。大学は 1746 年に設置された。学生数は学部生 4800 人、大学院生 2000 人である。少数精鋭の私立大学。アメリカ全土で 8 番目に古い。アイビー・リーグ (Ivy League) の大学 8 校のうちの 1 校。US ニュース&ワールド・レポートが毎年行っている学部ランキングでは、1、2 位に位置しており、2006 年度は単独で 1 位であった。同大学の 30-40 人のノーベル賞受賞者(卒業者を含む)の内、約 20 人が物理学賞の受賞者である。アインシュタインはこの地の高等学術研究所で晩年を過ごしたことは大変有名である (Fig. 8)。

PPPL には東大を出て大学院から米国に移り、40 年以上米国住まいの山田さんが Hantao と一緒に実験を行っている。そこで、大学院教育の理念など面談する相手の紹介をお願いした。すると、主任の Nat Fisch が良いだろうと返事が来た (Fig. 3)。「あ、そうか。Princeton には Nat がいたんだ」と「NIF による基礎科学」の審査委員同士として知り合った Nat がいた事に気づかされた。そこで、早々

に彼にメールを書いたら「俺は、お前がこちらに来る日からちょうどサバティカルでイスラエルの Wiezmann 研究所に行くんだ。朝早い時間なら話ができる」と返事が来た。しかし、こちらは NYC から電車で 1 時間かけて出かけるので、余り早く行きたくない。彼に「Nat, forget about me. See you another chance」と返事した。すると彼は「教育のことなら学部を含めて Greg が良く知っているから彼を紹介するよ」と回答してきた。

そこで、Director of Graduate Studies の肩書きを持つ Greg Hammett とコンタクトし、午後 3 時から 2 時間、時間を取っていただいた。ホテルに迎えに来てくれ、彼のオフィスで話した。聞いた事を思い出すままにまとめよう（彼が 3 月に合格者に説明した資料の一部を巻末に着けた。参照してほしい）。

プリンストン大学の学部で物理を希望する学生は学部時代の半分は物理関連の勉強、半分は一般教養の勉強をする。プリンストン大学は UC Berkeley 等と違い、学部から大学院への進学を認めている。大学院の物理関係は Physics, Astrophysics, and Plasma Physics と 3 つのサブ専攻に別れている。歴史的な理由でプラズマ物理学専攻が独立してあるのは珍しい。大学院生の定員はそれぞれ 16, 5, 6 人となっている。大学院は当然、5 年間一貫であり、最初の 2 年間は修士課程として基礎と学問の幅を広げる教育が用意されている。講義による勉強は当然だが、特徴的なのは、1 年生は実験のプロジェクト、2 年生は理論物理のプロジェクトが課される。将来、理論、実験のどちらかを選ぶかにかかわらず、両方の学術への方法論をしっかり学ぶわけだ。これは大変良い仕組みだと思う。

大学院性は年額 400 万円の授業料は免除され、加えて、給料として奨学金 300 万円ほど支給される。プラズマ物理専攻の場合は DOE（米国エネルギー省）から巨大な予算をいただいております、その中に大学院生の授業料と奨学金も含まれている。将来の研究を支える若手だから政府が支援して当たり前という考えだ。日本で言えば、環境省が優秀な環境理工学の博士が生まれて省の学術レベルが上がる。だから、環境省は環境理工学の大学院性に事業料や生活費を予算として確保するのだ。そんな考えが米国では当たり前。全米科学基金(NSF)には、学部生が申請し、好きな大学の大学院生活を送るための奨学金制度がある。この奨学金を獲得していれば、どこの大学院に進学しても学費と生活費が貰える。また、プリンストン大学にはその 1 兆円近い膨大な基金の運用で院生の生活を保証している。ちなみにこの額は米国 5 位で、1 位のハーバード大学は、なんと、4 兆円の基金を持っている。ここで、注意が必要なのは、日本では奨学金というと「将来返済しなければいけないのか」と思うだろうが、米国での奨学金の定義は、給料と同じ。大学院生は研究を助けることになるので対価として給料を出す。返済義務があるのは米国では「学生ローン」という。

さて、プリンストンの大学院に合格した院生の生活を紹介します。まず、7 月には入学して、research project を始める。これは、プリンストンだけでなく全米のプラズマ物理関係の研究をしている機関を訪ね報告書をまとめる作業。その旅費などは DOE が支援してくれる。MIT、Wisconsin 大学、Maryland 大学、UCLA などプラズマ物理学専攻のある大学の研究室訪問をする。そして 9 月から第 1 セメスター（秋学期）が始まる。プラズマ物理学専攻の学生は General Plasma

Physics I の講義を Nat Fisch から受ける。1 時間が週 3 回。宿題が山ほど出る。加えて Graduate Seminar, Catch-up Physics Course が 1 月まで続く。1 月には大学院の正式なコースを受講できるかどうかの”Preliminary Physics Examination”が行われる。3~4 時間の筆記試験が 2 日間ある。科目は①古典力学、②電磁気学、③量子力学、④統計力学。これは阪大の大学院入試と同じ 4 課題である。

これに合格した大学院性は**巻末**のように講義やセミナーや研究室コースを受ける。先生や講義内容は下記の URL に詳しい。

http://www.princeton.edu/gradschool/about/catalog/fields/plasma_physics/

このようにして 2 年間の基礎固めの勉強をした大学院生はプラズマ物理学に関する”General Examination”を受けなければいけない。試験は 2 日間の筆記試験と一人 1 時間の面接試験である。だいたい 80%位の院生が合格するそうだ。不合格になるとまた 1 年、勉強しなければならない。

さて、大学院入試に戻ろう。コロンビア大学と同じで沢山の入学願書が届く。大学の成績、3 人からの推薦状。GRE 試験結果は Verbal, Math と Physics を課す。TOEFL も。その中から約 50 人を”Serious Applicants”として選ぶ。プラズマ物理専攻定員は 6 人だが、他の大学を選ぶ可能性も含め、9 人に合格通知を出す。

プリンストン大学には研究者 100 名を抱える PPPL(Princeton Plasma Physics Laboratory)という大研究所がある。教員はこの研究所の所員を兼任しているので、核融合プラズマや基礎プラズマなど幅広い、世界一流の研究に博士課程から浸かることが出来るようになる。X 線計測が専門で日本に 18 回、合計 1 年程度いた事があるという Ken さん(米国人:愛称が高倉健のケン)にホテルやディナー会場への車でお世話になったが、彼の研究室で研究をやると、世界中の大型核融合装置を巡り、国際共同研究をすることになる。

大学の基金について先に触れた。基金とは大学が持っている貯金である。米国ではこの膨大な資金を株や諸々に投資して年率平均 15%の利潤を上げている。ほとんどの有名大学がこのように基金を大きくしている。リーマン・ショックで大きく目減りしたが、既にショック前の額を超えている。だから基金は雪だるま式に増えている(次ページの表を参照)。基金は個人や企業などからの寄付が元である。私が Greg に「米国では寄付の習慣が根付いているから良いよな」というと、「それだけじゃない。寄付は卒業生からの寄付が多いんだ。Princeton は親が Princeton なら子供にも Princeton に進学させたいという親が多い。そういう人は積極的に寄付してくれる。子供や孫が将来学ぶ大学がより良い大学になってほしいからさ」と。なるほど、そう言う背景もあったのか。

卒業生を主とした大学への寄付金も驚くべき金額である。手元に資料がある。2010 年の年間寄付金は Stanford, Harvard がトップで 6 億ドル(約 600 億円)。Princeton 大学でも 200 億円近くある。これは一年間の大学への寄付の額ですよ(次ページん表を参照)。日本は到底及ばない。カルチャーの違い、経営意識の違いです。米国の親友が言っていた。「子供の頃、親から言われていたことは、『まず、良き米国市民になれ。そして、経済的に余裕が出来たら寄付しなさい』

だった」と。阪大の年間運営費は運営費交付金が 500 億円、これに病院収入など加えて 1000 億円が年間予算だ。こんな貧乏大学が、どうやって米国のトップ 10 の大学と順位を競そう？米国の友達は笑っているよ。

この記事を読んだ阪大の知り合いで、Princeton に半年住んでいたという方から、補足説明があった。Princeton 大学では卒業生が大学に寄付すると、個人の資産運用もしてくれるのだそうだ。年率 15% なら、そこいらの証券会社や信託銀行に託すより、よほど利回りがいい。こういう所はさすがに米国の大学である。経営感覚のある先生方が大学の資産を増やしながら、世界に名だたる優秀な学生や研究者を輩出しているのである。日本の国立大学には逆立ちしてもまねできないだろう。阪大には経済学部の先生で、年率 15% を維持して投資が出来る、実力を兼ね備えた先生が何人いるだろうか。たぶん、皆無に等しいでしょう。大学という温室の中で、社会を経験せずに育った学者に金儲けなどする能力はない。いや、「金儲けなど出来ないことを大学人として誇りに思う」など、開き直られそうだ。そういう大学で教育されて社会の荒波に出される学生はかわいそう。ちなみに、ケインズ経済学で有名なケインズ教授は自分の経済理論を実践しなければいけないと、個人資産を株に投資し、見事、一財産を築いたそうである。学者なら実践が伴わなければだめだ。私も実力試しに、ベンチャー企業でも始めるか（うそ）。

米国の大学には個人寄付などによる名前付きの建物が多い。ここにも寄付の精神が生かされている。そう、Greg に言ったら。「俺は余り冠着きの建物は好きじゃない。例えば、卒業生の上院議員のだれだれが、両親の名前の付いた建物を学部 1 年生の集いのビルとして寄付したんだ。売名行為、偽善的だよな」と。まだまだ、米国の豊富な基金が集まる背景には色々な側面がありそうだ。

最後に、会議の終了後、タクシーで 20 ドル出し、PPPL から dawn town に来た。Fig.4-5 のきれいな Princeton 大学のキャンパスを歩いた。歩くだけで賢くなりそうな雰囲気がある。中に、Princeton Museum があり見学した。私財による博物館としては世界一だそうだ。中を見て、驚いた。私達はルーブル、大英博物館、故宮博物館（台北）始め世界中の博物館を見ているが、こんな質の高い展示物を集めている博物館は世界中にここだけだろう。館員にそう言うと、とても喜びながら長々と説明してくれた。これも卒業生達の寄付による、という。すばらしい。なお、博物館の写真は高部の Facebook <http://www.facebook.com/#!/hideaki.takabe> に展示しています。

米国大学の資産（貯金）と毎年の寄付金額

表1・5 大学の資産

■2010年			■2008年		
順位	大学名	金額 (億ドル)	順位	大学名	金額 (億ドル)
1	ハーバード大学	275.6	1	ハーバード大学	365.6
2	エール大学	166.5	2	エール大学	228.7
3	プリンストン大学	143.9	3	スタンフォード大学	172.0
4	テキサス大学機構*	140.5	4	プリンストン大学	163.5
5	スタンフォード大学	138.5	5	テキサス大学機構*	161.1
6	マサチューセッツ 工科大学	83.2	6	マサチューセッツ 工科大学	100.7
7	ミシガン大学*	65.6	7	ミシガン大学*	75.7
8	コロンビア大学	65.2	8	ノースウエスタン大学	72.4
9	ノースウエスタン大学	56.5	9	コロンビア大学	71.5
10	テキサス農工大学*	57.4	10	テキサス農工大学*	66.6
11	ペンシルバニア大学	56.7	11	シカゴ大学	66.3
12	シカゴ大学	56.4	12	ペンシルバニア大学	62.3
13	カリフォルニア 大学機構*	54.4	13	ノートルダム大学	62.3
14	ノートルダム大学	52.3	14	カリフォルニア 大学機構*	62.2
15	デューク大学	48.2	15	デューク大学	61.2
16	エモリー大学	46.9	16	エモリー大学	54.7
17	ワシントン大学 (セントルイス)	44.7	17	コーネル大学	53.9
18	コーネル大学	43.8	18	ワシントン大学 (セントルイス)	53.5
19	バージニア大学	39.1	19	ライス大学	46.1
20	ライス大学	37.9	20	バージニア大学	45.7

注：*は州立大学

単位は億ドル。ハーバード大学は約3兆円の資産を持ち、毎年資産運用で15%の利益を出している。つまり、毎年運用利益だけで4500億円ある。注意：基金が2008年より2010年の方が少ないのは「リーマンショック」で投資に失敗したため。しかし、その後、現時点ではリーマンショック以前より多い基金の額に戻っている。有名校には下のように、年間600億円程度の寄付がある。

表1・4 寄付金額の上位校

■2010年			■2008年		
順位	大学名	金額 (万ドル)	順位	大学名	金額 (万ドル)
1	スタンフォード大学	59,889	1	スタンフォード大学	78,504
2	ハーバード大学	59,696	2	ハーバード大学	65,063
3	ジョンズホプキンス大学	42,759	3	コロンビア大学	49,511
4	南カリフォルニア大学	42,602	4	エール大学	48,661
5	コロンビア大学	40,236	5	ペンシルバニア大学	47,596
6	ペンシルバニア大学	38,159	6	カリフォルニア大学 ロスアンゼルス校*	45,665
7	エール大学	38,090	7	ジョンズホプキンス大学	44,896
8	ニューヨーク大学	34,921	8	ウィスコンシン大学 マディソン校*	41,023
9	デューク大学	34,547	9	コーネル大学	40,942
10	インディアナ大学	34,282	10	南カリフォルニア大学	40,918
11	カリフォルニア大学 ロスアンゼルス校*	34,041	11	インディアナ大学*	40,862
12	ウィスコンシン大学 マディソン校*	31,185	12	ニューヨーク大学	38,767
13	コーネル大学	30,822	13	デューク大学	38,567
14	カリフォルニア大学 バークレー校*	30,751	14	カリフォルニア大学 サンフランシスコ校*	36,607
15	マサチューセッツ 工科大学	30,718	15	ミシガン大学	33,345
16	ワシントン大学 (シアトル)*	28,522	16	マサチューセッツ 工科大学	31,190
17	カリフォルニア大学 サンフランシスコ校*	26,890	17	ミネソタ大学*	30,761
18	ノースカロライナ 大学チャペルヒル校*	26,686	18	ワシントン大学 (シアトル)*	30,277
19	ミシガン大学*	25,210	19	ノースカロライナ 大学チェペルヒル校*	29,239
20	シカゴ大学	25,123	20	カリフォルニア大学 バークレー校*	28,535

注：*は州立大学



Fig. 1 Lyman Spitzer who is the frontier of magnetic fusion energy research in US and also famous of his proposal of the Hubble Space Telescope.



Fig. 2 Lyman Spitzer and his first Stellarator Machine. This was designed only by two theoreticians, Spitzer and Schwarzschild, a son of famous Karl Schwarzschild on Black Hole. They really try to produce the fusion energy with this small machine in 1950's.



Fig. 3 Pictures of the faculties in Division of Plasma Physics, Dep. of Science, Princeton Univ. Division head is my friend Nat Fisch who is also one of 12 members of the Science on NIF Committee, Lawrence Livermore National Laboratory. Hantao Ji is at far left and middle.



Fig. 4 Campus of Princeton University



Fig. 5 Building and Path in the campus of Princeton University at the down town.



Fig. 6 Entrance of PPPL (Princeton Plasma Physics Laboratory) of the main building.



Fig. 7 A snap shot of the gathering, not a meeting. Presenter is front left and not be seen. I took a picture from Chairman position, since I was asked to be Chair in the afternoon session.



Fig. 8 All Einstein books at Princeton Book store. Physics starts with Einstein here.

The Princeton Graduate Program in Plasma Physics

(+ fusion status & my research interests)

Greg Hammett, March 11, 2013

Director of Graduate Studies, Spring 2013

hammett@pppl.gov, hammett@princeton.edu

A-137, 609-243-2495

Typical set of courses (covered by General Exams at end of Year 2):

- Year 1, Fall:
 - General Plasma Physics I, 1 semester survey, fundamentals, orbits, kinetic & fluid theory
 - Selected physics courses to brush up to pass Physics Department Preliminary Exams (“Prelims”). (half-semester courses in Quantum, E&M, Stat. Mech., Classical Mechanics)
- Year 1 Spring:
 - General Plasma Physics II, MHD, neoclassical transport & drift wave turbulent transport
 - Lab Course in Plasma Physics
- Year 2, Fall:
 - Plasma Waves
 - Asymptotic methods and PDEs
 - Fusion Plasmas and Plasma Diagnostics
- Year 2, Spring:
 - Irreversible Processes in Plasmas
 - + plasma graduate seminar every semester: fall presentations by students, spring presentations by physicists + upper level students.

http://www.princeton.edu/gradschool/about/catalog/fields/plasma_physics/

Elective plasma courses (every other year):

- Computational methods for plasmas
- Space plasma physics (Bhattacharjee)
- Advanced Plasma Dynamics (advanced MHD, Hamiltonian guiding center theory, kinetic-MHD)
- Turbulence and Nonlinear Processes in Fluids and Plasmas

- Non-neutral plasmas
- + cross-listed courses (quantum mechanics of spectroscopy, plasma propulsion)
- Occasionally take other courses in physics (GR, field theory, string theory), astrophysics, computational science (esp. for those with Computational Science Fellowships), literature, languages.

Broad Research Experience:

- 1st year experimental project
- 2nd year theory project
(APS posters, not unusual to lead to publications)
- Then choose thesis project
- Flexibility in choosing research projects and advisors by mutual consent. Large set of advisors and research areas to choose from.
- You were selected for admission as the best students overall. You are not assigned to any particular project and you have no obligation to work on any particular project (though you have to work on some project of course).

URL-sites

All about the Program in Plasma Physics:

<http://www.princeton.edu/plasma/>

Plasma Ph.D. Thesis Titles (and full dissertations):

<http://www.princeton.edu/plasma/academics/graduate-theses/>

Employers of all graduates since 1990:

<http://www.princeton.edu/plasma/academics/employers-of-program-grad/>

Main Research Areas:

<http://www.princeton.edu/plasma/research/research-areas/>

Full List of Plasma Faculty and research interests:

<http://www.princeton.edu/plasma/faculty/>

Princeton: A Historic University with a Tradition of Service

- Princeton “In the Nation’s Service, and In the Service of All Nations”, based on President Woodrow Wilson’s 1902 address
- Plasma physics is an applied field in many ways, trying to do something useful for others: fusion energy, etching computer chips, space propulsion.
- PPPL Founded by Lyman Spitzer (chair of Astrophysics, inventor of space telescope)

concept) to try to make fusion energy.

- Plasma physics is also an “applied science” for understanding natural phenomena observed in other fields: astrophysical, solar, and space physics: solar eruptions, solar wind interaction with earth’s magnetosphere, accretion disks and jets from all kinds of accreting objects (black holes, binary stars, star formation ...)
- Plasma physics also has “pure” aspects, fundamental study of a complex state of matter found in nature: collective behavior (weak interaction between individual pairs of particles, strong interaction among many particles), dual pictures (collective / test particle), nonlinear dynamics, chaos theory, interaction with strong electromagnetic fields, ...