

研究グループ紹介

高部グループ (大阪大学)

1. はじめに

高部グループの本籍は大阪大学レーザー核融合研究センターのレーザープラズマ理工学部門・複雑系シミュレーション研究領域（教授1，助教授1，助手1）である。また，この領域が大阪大学理学研究科物理学専攻の協力講座であることから，学生は物理学専攻の大学院入試を受けて入ってくる（付録1参照）。2001年4月より，宇宙・地球科学専攻の協力講座も兼ねる予定であり，2002（平成14）年度からは両専攻より大学院生を受け入れる。

研究内容は次節で紹介するが，おおざっぱに言うと，次の二つの観点からテーマを決めている。一つは，複雑系シミュレーション領域に課せられた使命である，「レーザー核融合統合コード」の開発。二つめは理学研究科の大学院生教育の立場から，優秀な学生が「ぜひ，研究してみたい」と魅力を感じるような研究を「高強度レーザー科学」という制限条件の下に展開している。

グループの研究方針のベースにある考え方は「レーザーを単に加熱のための道具」とみなす囚われた考えから脱却し，先端科学を牽引する「第二の加速器」と認識を改め，研究を展開していくというものである。この際，一番の障害は，私のようにプラズマしか知らない研究者が，相対論や量子力学（原子物理，核物理，そのうち素粒子も）などを駆使することが要求されることである。私くらいの年齢になると勉強の真似事はできても，若いときのようにまったく新しい分野のことを，真綿が水を吸い取るような具合にはいかない。そこで，いかにして優秀な学生を魅了し，彼らに勉強・研究してもらい，彼らから私が教えてもらおうか。これも研究の方向を大いに左右している。

2. 研究内容

(1) レーザー核融合の要素物理

レーザー核融合では，レーザーとプラズマの非線型相互作用，高温流体の物理，多電子原子の非平衡統計力学，X線や荷電粒子の輸送論などが要素物理として重要である。これらの理論モデルの構築と数値計算コードの開発を行っている。現在は，電子の非局所エネルギー輸送と多次元空間内のX線輻射の非平衡，非局所なエネルギー輸送を中心に研究を行っている。

(2) 統合コードの開発と大規模計算科学

レーザー核融合や天体物理は高温・高密度プラズマ流体というマクロな物理と原子物理，核物理などミクロな物理が密に絡んだ複合系の物理を研究対象としている。多次元流体コードをベースにした大規模数値計算コードの開発と，それを用いた実験・観測データの解析や予測，さらに，レーザーによる天体現象模擬実験の提案などの先見的研究を行っている。この研究の中心はセンターのプロジェクトである「レーザー核融合統合コード」の開発である。グループ外の教官とも連携してプロジェクトを推進している。

(3) レーザー天体物理

ハッブル宇宙望遠鏡に代表される観測技術の急速な向上により，高度な宇宙物理の理論が要求されている。星の進化を中心とする宇宙150億年の発展シナリオ解明の重要課題が高強度レーザーを用いた実験室での模擬実験で解明し得るか検討している。主に，超新星爆発の物理機構やその残骸の流体・原子過程，ブラックホールまわりや活動銀河核の相対論的プラズマやX線レーザー天体の可能性等が研究対象。

以上，研究を3つに大分類したが，全体を通しての研究目的は以下のとおりである。核融合によるエネルギー開発を長期目標として追求すると同時に，それに至る研

author's e-mail: takabe@ile.osaka-u.ac.jp

ホームページ: <http://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/CD/D/>

研究グループ紹介

高部グループ (大阪大学)

究のプロセスで重要となる高温・高密度プラズマの流体・原子・輻射の物理を解明し、学問として体系化していく。また、その成果を広く宇宙物理や航空工学などとリンクさせ、裾野の広いレーザー核融合科学研究の確立をめざす。スマートな言葉で表現すれば、プロジェクト研究に学問としての基礎研究を位置づける「パスツール型」(付録2参照)を唱え、レーザー天体物理や核物理を、核融合プロジェクト研究の基盤研究として推進している。

3. 構成員と研究テーマ

高部英明 (教授)「高強度レーザー科学」の伝道師のつもりだが.....ピエロかも?

山田章一 (助教授) 学生指導と主に「複雑部分電離プラズマの原子物理・統計力学」

澤田恵介 (客員教授: 東北大)「多層非構造メッシュによる多次元流体の数値計算」

砂原 淳 (学振特別研究生)「非局所電子熱伝導用 Fokker-Planck コードの開発」

大西直文 (電気D3)「多次元輻射流体コードの開発と流体不安定初期擾乱の制御」

森田恭代 (物理D2)「光電離プラズマとX線レーザー天体の可能性の研究」

中島健一 (物理D1)「超高強度レーザーによる電子陽電子対生成の数値解析」

水田 晃 (物理M2)「相対論的多次元流体コードの開発と相対論ジェットの研究」

船原和政 (物理M1)「多電子原子の物理と近代的原子コードの開発」

塩屋俊直 (物理M1)「超高強度レーザーによる核物理」

山田君は昨(2000)年8月、東大物理の佐藤勝彦研究室より着任した。東大では「ビッグバン初期宇宙研究センター」に所属し、主に、重力崩壊型超新星爆発の物理機構を研究していた。専門は一般相対論、素粒子、核物理、流体物理など。阪大では原子物理・状態方程式など統合コードの物理全般にわたり物理モデルの21世紀化(最新鋭化)を担当していただいている。澤田さんは、学生時代はブラックホールまわりのアクリーション円盤などの数値計算を、松田卓也(現・神戸大)さんの下で行っていた。現在は東北大学の機械航空宇宙工学科の教授で、専門は数値流体力学。共同研究では、統合コードの多次元流体の界面に多層メッシュを張り、高分解で流体不安定から乱流混合が起こる様子などを調べる、ユニークな研究を行っている。

砂原君は、現在、米国NY州 Rochester 大学レーザー

・エネルギー研究所に助手として勤務している。本人の希望がかない、昨年9月より1年半(学振が許す上限)の予定で、レーザー核融合では競争相手でもある上記研究所で研究を続けている。現在は阪大で開発した Fokker-Planck コードを、阪大の流体コード (ILESTA) から切り離し、同大学のLILACコードに結合する作業を行っている。そろそろ、新しい成果の出るころである。大西君はこの原稿が読者の皆さんの目に触れるころには、学位も取得し、東北大学・澤田研究室の助手として勤務を始めたころでしょう。また、中島君は「レーザー核物理」の共同研究の一環として、米国ジェネラル・アトミクス社(サンディエゴ)に6月から8ヶ月間滞在し、実験家の Tom Cowan 博士を理論面で支える予定です。水田君は博士後期に進学。4月からは、新M1が二人(阪大の小林、京大の杉山)が加わります。

また、外国人客員教授もしばしば私のグループで研究を共にする。昨年は半年間(99.12-00.5)、ロシアの ITEP より、宇宙物理理論が専門の Serguei Blinnikov 教授に来ていただいた。滞在中、毎週、講義をしていただき、さらに、事前にしっかりした講義ノートを用意していただき、配布した。彼は Zeldovich の弟子で、講義の質は大変高く、外部からも受講者がいた。13回の講義の後、講義ノートは修正・加筆され、滞在中に冊子として完成した。題は「Astrophysics of Exploding Objects」でA4サイズ200ページの大著である。宇宙物理の研究者にも配布し、高い評価を受けている。

今年(2001)は6月より5ヶ月間、原子物理が専門の David Salzmänn 教授に来ていただく。彼は、93年に3ヶ月間滞在したことがあり、その際の8回にわたる講義の質も大変高く、受講者が回を重ねるごとに増えたのを感じている。彼にも無理を言って、毎回講義ノートを配布していただいた。その講義ノートが母体となって、その後、教科書として出版されている[1]。彼もまた、有名な先生(ラカー係数などで有名な Racah)の弟子で、今回は山田君と複雑な原子コード作成の共同研究を予定している。

4. 研究協力(共同研究や情報交換)

東大理天文・物理(宇宙物理): そもそも、私を宇宙物理に引き込んだ(誘ってくれた)のは天文学研究科の野本教授である[2]。超新星爆発のメカニズム、流体混合など、茂山助教授、鈴木助手を含め、議論が続いている。また、今回、山田君を物理学研究科から引き抜いた。佐藤先生とも山田君を通じて共同研究を進めたいと考え

ている。

京大天文台（天体プラズマ）：国立天文台当時の友人の柴田教授が京大に戻った。99年12月の基研での研究会でコーヒーを飲みながら「関西にはずいぶんプラズマ天体に関係し、アクティブに活動しているグループが居るよね。せっかく近くに居るのだから定期的に情報交換できる仕組みを作ろうよ」ということで意見が一致した。そして、「関西プラズマ天体物理フォーラム」なる会の発足を、12の研究グループに趣意書を添えて呼びかけた。その結果、京大7、阪大4、神大1の全代表より賛同の返事があり、6月に第1回の会合を開いた。2ヶ月に1度のペースで、持ち回りで幹事を受け持ち、昨年は4回目を12/13に京大宇宙の嶺重・町田両幹事を中心に行った。学生にレベルの高い議論に参加させることも目的の一つである。毎回、40人ほどが集まっている。この12のグループの研究者は、全員、潜在的な共同研究者、と私は勝手に解釈し、お付き合いさせていただいている。

核融合研（原子過程・物理）：核融合研・企画情報センターの加藤教授、More教授、村上助手と作業会を通して共同研究を行っている。加藤さんが開発してきた衝突・輻射モデルのコードでレーザー宇宙物理の模擬実験の解析などしてきた。また、現在、山田君がMoreさんの半古典原子モデルを採用して、原子コード作成中で、議論を重ねている。また、森田さんも半古典モデルをベースに原子過程を解き、光電離プラズマを調べる。

東北大工（数値流体力学）：澤田教授には客員教授として平成11年度から、たびたび阪大に来ていただいて、コード開発の議論をさせていただいている。客員教授の任期3年の内規に従い、平成13年度一杯で終了である。それまでに、統合コードを完成させるべく共同研究を進めている。4月からは大西君もこれに参画するわけで、心強い。

筑波大学（輻射流体力学）：計算科学研究センターの宇宙物理部門の梅村助教授、中本助手と、放射流体力学の統合コードに関する議論を行っている。まだ、正式の共同研究になっていないが、近い将来、そのようにすることで合意している。

九大工（核反応粒子輸送）：原子核工学の中尾教授、城崎研究員と核反応粒子輸送の数値計算の共同研究を実施している。九大で開発している、アルファ粒子輸送コードが完成したら、統合コードに組み込むことも考えている。一方、中島君が相対論的な電子のFokker-Planckコードを空間二次元に拡張している。これについて、中尾教授たちが採用している速度空間のゾーニング法をご

教授願ひ、導入しているところである。

関西原研（原子物理）：佐々木主任研究員のグループと原子物理を中心に共同研究をしている。特に、多電子系の原子の詳細構造の計算コードとして世界中で使われるようになってきた、HULLACコードの物理アルゴリズムの解説や、光電離プラズマの研究で、情報交換などを主に、核融合研の作業会を通して行っている。

今までの共同研究は上記の程度であるが、私の基本姿勢は「他分野のことでわからないことは、その分野の専門家に教えていただく」ということである。したがって、これから始めるレーザー核物理については、阪大理学研究科物理の核理論が専門の大坪教授、佐藤助教授にお教え願おうと考えている。また、水田君の宇宙ジェットについては、宇宙・地球の高原教授にアドバイスしていただいている。また、森田さんの光電離プラズマについては北本助教授や常深教授に助けてもらっている。実際、X線レーザー天体のアイデアは、京大物理の小山教授より教えていただいたことが発端である。

レーザー研内部での協力体制は統合コード開発を通して構築されている。このようなコード開発に学生を巻き込むことには私は反対である。したがって、センターの「統合コード開発プロジェクト」は、私がプロジェクトリーダーで全体を統括し、流体部分を長友助手（三間グループに所属）と澤田教授が、原子物理や輻射輸送など物理全般を山田助教授が担当している。そして、三間グループ、西原グループの研究は支援研究と位置づけている。つまり、両グループで個々に行われるオリジナルな研究が、結果としてコードに取り込める物理モデルとなり、それを将来的に統合コードに取り込んでいく。その例として、乱流混合のモデリング、レーザー吸収のモデリングや相対論的高速電子のモデリング、光電離プラズマのモデリングなどがある。

5. 学生指導・研究成果

理学研究科とはキャンパスが離れているので、M1で入学してきた学生には、まず、前期は講義中心で単位を取れるだけ多く取らせる。研究は、11月ごろから始める。一応、このころまでには本人と話し合い、やらせたい研究と希望する研究が一致するよう努力する。平成13年度の学生の場合、山田君を含む三者での話し合いとなる。早い場合は次の年の学会から研究者のタマゴとしてデビューとなる。

学生の学会発表は物理学会が主体。まずは、慣性核融

研究グループ紹介

高部グループ (大阪大学)

合のセッションで発表し、次回からは、原子物理関係は「原子・分子」で、を基本としている。レーザー核物理も塩屋君が核物理理論で講演する時が来るのを楽しみにしている。高部は物理学会およびプラズマ・核融合学会に出席するようにしている。また、最近は天文学会にも出席して、情報を集めている。新分野開拓を心がけ、「情報は足で稼ぐ」の精神で各種会合に顔を出している。学生には早い時期に海外での国際会議に出席するよう指導している。英語で喧嘩ができるぐらいでないと、厳しい研究社会で自己主張などできない。その意味では、上品な学生にも「もろ肌脱ぐ」練習をさせている感もある。

私は、学位取得後、ドイツで1年、アメリカで1年弱の研究生生活を送る幸運に恵まれた。この2年間で私の研究人生のあり方に、よい意味で多大の影響を与えてくれた。したがって、自分の学生にも同じか、それ以上の経験をしてほしいと考え、できるだけ早い時期に外国生活のチャンスを与えたいと考えている。今は、学生の間から英語圏での研究に従事できる機会を作るよう心がけている。今回の中島君は、その第一号である。

修士論文を英文化し、学術雑誌に投稿できるよう、学生に声援を送っている。学生が最初を書く英文をチェックするのは、本当に、胃が痛むというか、引っ繰り返る思いであるが、丁寧にチェックすると、二回目からは読みやすい論文を書いてくるので、感心している。

2000年6月の核融合エネルギー連合講演会で、砂原君がポスター優秀賞を受賞。高部が10月、ケベック市で開催された米国物理学会(APS)でフェローの称号を授与された。授与の理由(表彰理由)は、「高部の公式」と呼ばれている流体不安定の分散関係式を明らかにしたこと。それと、「レーザー天体物理」という新しい分野開拓に指導的役割を果たした先見性に対して、であった。本人は後者での受賞理由に痛く感銘している。これで、レーザー天体物理の先導者として世界的にも認知されたことになる。

また、平成12年度から大阪大学では英文の学術年報を出版することとなった[3]。各機関に配布したり、阪大を訪問する外国の方には全員渡すそうである。それには、阪大のすべての研究者、学生を対象に論文を募り、岸本総長が委員長を勤める編集委員会で「今年の阪大、ベスト100論文」として選考し、掲載することとなった。高部のレーザー天体物理に関する共著論文[4]が選ばれ、感激している。Scienceの分野ではわずか21論文であり、その一編として選ばれたことは光栄である。

なお、研究成果に関するさらに詳しいことは次節に示

すホームページでごらんいただきたい。

6. グループ情報

・高部グループ・ホームページ：<http://www.ile.osaka-u.ac.jp/research/CD/D/>

・連絡先：高部英明：Tel：06-6879-8731

E-mail: takabe@ile.osaka-u.ac.jp

・打ち合わせ：

毎週火曜日10時から1時(昼食も)。簡単な連絡事項の後、担当者が自分の研究分野のレビューを行う。高度なレビューが要求されており、きっちりしたレポートも用意して2時間ほど行う。

・輪講：

マクロな物理とミクロな物理の2件を、修士学生を対象に行っている

(1)流体物理：Ya.B.Zeldovich and Y.P.Raizer, "Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena" (Academic Press, 1966). Vol. 1 & 2.

(2)原子物理：B.H.Bransden and C.J.Joachain, "Physics of Atoms and Molecules" (Longman Group Ltd., 1983).

しかし、(1)については、途中で休止の状態である。私の責任。

参考文献

- [1] D.Salzmann, *Atomic Physics in Hot Plasmas* (Oxford University Press, 1998).
- [2] 高部英明, 野本憲一：日本物理学会誌 53, 84 と表紙 (1998).
- [3] T. Kishimoto ed., *Annual Report of Osaka University, Academic Achievement (1999-2000)* (Osaka University, 2000).
- [4] B. Remington, D. Arnett, P. Drake and H. Takabe, *Science* 284, 1488 (1999).
- [5] D.E. Stokes, *Pasteur's Quadrant* (Brookings Institution Press, 1997) p. 73.
- [6] 西原功修：プラズマ・核融合学会誌 76, 685 (2000).

付録1：阪大理学研究科・大学院入試

阪大の理学研究科物理学専攻は、宇宙・地球科学専攻と合同で入学試験を実施している。志願者はまず、理論か実験かを明記し、理論の場合は私が所属するC1(素粒子・原子核・宇宙・プラズマ)かC2(物性)かの、どちらかを選び、筆記試験と面接試験を受ける。面接試験の

際、本人の希望を確認した上で研究室配属を決めてしまう。私は協力講座ではあるが、学生配分はきわめて民主的で、C1の先生方からは、極言すれば「高部先生、あなたの魅力で希望する学生を何人でもお取りください」と言われている。しかし、これが大変。素粒子など究極の物理志向の強い優秀な学生に、「ぜひ研究してみたい」と思わせるような「究極の物理」を提供しうるか、これが大きな問題なのです。

付録2：「パスツール型」の研究方式

近代の科学研究の進め方を分析した本に、研究を3つのタイプに分類し、それぞれに代表的研究者の名を書いたFig.1のような「パスツールの4つの窓」と呼ばれるものがある[5]。上下が「根源的な原理が知りたいという知的好奇心が動機となっている」のYes or Noであり、左右は「応用を意識して研究を進めるか」のYes or Noである。(上下、左右)の順に(Yes, No)がボーア型やアインシュタイン型と呼ばれ、(No, Yes)がエジソン型と呼ばれている。これらに対し、パスツールは自らも意識して(Yes, Yes)の研究スタイルを維持したそうである。私は後世の科学論の研究者がこのように分類したのかと思っていたが、ICPP議長 Tendler 博士と話していたら、彼もパスツール型に詳しく、「パスツール自身が意識してそのような研究スタンスを保った」と教えてくださった。

私は21世紀型のプロジェクトはパスツール型であるべきだと考えている。特に、エジソン色の強かった核融合研究の分野では、声高に「パスツール型」を唱えつつ研究を進める必要があると考えている。パスツール型については、東大工学研究科の近藤駿介教授に教えていただいた。99年11月、東京で開かれた「ICF フォーラムシンポジウム」[6]のパネルディスカッションの席で、藤原核融合研所長に、私が最後に質問した際、私は、核融合から生まれてきたまったく新しい基礎科学の芽を育てることの重要性を、核融合ソサエティーに求めた。その際、

Research is inspired by:

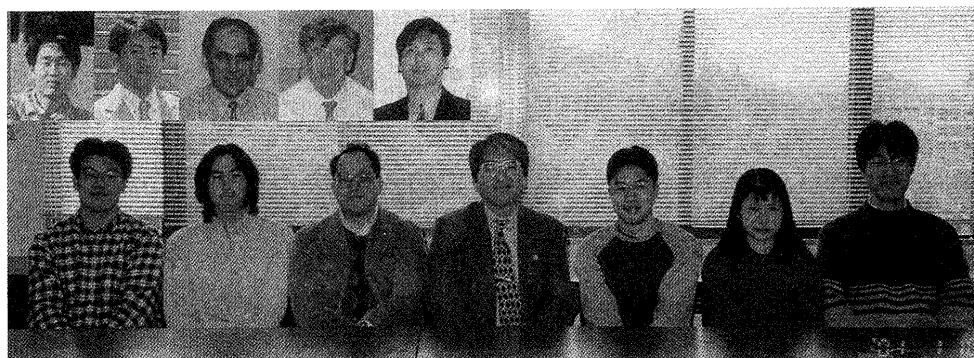
		Considerations of use?	
		No	Yes
Quest for fundamental understanding?	Yes	Pure basic research (Bohr)	Use-inspired basic research (Pasteur)
	No		Pure applied research (Edison)

Fig.1 パスツールの4つの窓。21世紀の大型研究はパスツール型であるべし。

藤原所長の返答の後、近藤先生が補足意見としてパスツール型の話を出された。

近藤先生がおっしゃられたのは「これからの複雑系の社会にあっては、大きなプロジェクトを推進しようとした場合、目的研究だけでは孤立してしまい、社会、学界からの支援が得られなくなる。パスツールに習い、6割の目的研究グループを4割の基礎研究グループが支え、この基礎グループが他の分野の研究者とパートナーシップを構築し、分野の成果を伝えていく。そして、目的研究から生まれた成果も、基礎グループが他の分野にもわかるように説明し、その成果を正當に評価していただくことなくして、プロジェクトは存続できない時代になるだろう」と、おっしゃられた。私は、感謝しつつ、しっかりとメモを取った(しかし、パスツール型の話が文献[6]の報告書から抜け落ちてしまっているのはなんとも残念である)。

(文責：高部英明)



写真説明：左より水田、塩屋、山田、高部、中島、森田、大西、そして左上のはめ込み写真は左より、船原、砂原、Blinnikov、Salzmann、澤田