

## 日米ワークショップ

11/3 Nugget ホテルでスタート。最初に opening remarks があったが、会場はやんわりとした Work shop というよりは完全に国際会議のミニ版のように高い壇上でしゃべる。参加者は 60 人位。Reno だけでなく様々な全米から来ていた。最初の話は阪大の Miyanaga さんで、FIREX の話。MRI 用の磁場を使った Faraday Rotator、セグメント化回折格子など。Fusion のためには別に 10ps であれば 1ps × 10 とかの独立なものの方がはるかに設計も楽しいのでは？という意地悪な質問をしたら、科学的な挑戦（高フィールド）にはこれがとか、レーザー技術の新たな挑戦...という答えであった。

次には Sandia の P. Ranbo が Z と ZBL(リバモアの Beamlet を SNL に持って行って PW 仕様にしたもの)の話。2.25kJ (500fs)、4.5kJ (5p) でいつもの Perry が使う回折格子のダメージからの試算。少しは話が進歩するか、それとも自前のスケールは持たないのか？という印象ではある。ただ、進歩は SNL では着実にきれいなバックライトの絵とかが出てきて、確実に面白い Hohlraum 実験が出てきそうな感じ。後で Scott Wilks とも話したが、このプラズマはむちゃくちゃな MJ 以上の輻射を持ち、configuration も自由で、さらに高エネルギーの電子ビームも存在する面白い系。これこそ基礎実験の面白いものが期待できそうな感じ。マシンも順調にオペレートされている感じである。

次は LANL の Fernandez が超高強度レーザーを用いたイオンビーム発生。主に W, Pd など重金属をターゲットにした場合の不純物の話で、Rutherford Back scattering (X線の)を使って内部までの不純物濃度の深さを見たり、Joule heating を使って H<sub>2</sub>O を飛ばしたりする話。W の場合、表層の O, C, H の層数は原子単位で言って 0.2, 0.1, 3.3, Pd ではそれぞれ 1.1, 1.2, 5.0 という感じ。CH<sub>2</sub> や H<sub>2</sub>O などの化学組成比にあっていないから、多分直接金属に炭化、酸化、水素吸蔵などの形でついている感じがする。Joule heating では完全に H<sub>2</sub>O が除去でき、それは発生イオン種から proton がなくなったことで確認。酸素や炭素はこれではとりきれない。WO のボンディングエネルギーは 35eV。レーザークリーニングで対応させる。8.1 × 10<sup>10</sup>W/cm<sup>2</sup> 程度の強度で照射させ 6 μs 後にメインを照射する。(クリーニングは裏から、メインは表からで裏からのイオン発生)

次は Kilkenny になっていたが、さすがに来ない。ちなみに彼の現在の所属は GA。以外と知られていなくて、他のアメリカ人もへっつと言う感じ。話のタイトルは back light ソースとしての PW レーザープラズマのスポットサイズの影響で

あるが、全体としては、PW からの X 線輻射はこんなに使えるという話。サイズ依存性は単に点光源イメージかスリットイメージで出てきただけで後は余り無く、むしろ効率が  $1021\text{W}/\text{cm}^2$  で 90% などと言ったもんだから、ちょっと信頼性が薄い感じ。

次は昼御飯の後に Fuchs の話し。彼も今は U of Reno にフランスから来ていて所属は Reno だが、当然実験はフランスなどの話。多層検出器（要するに CR-39 を金属でサンドイッチしたもの）で低いエネルギーほど広がり角が大きくなるというもの。次の日に Manuel Hegelich が LANL、GSI の実験で表面不純物ほど初期に出るので高いエネルギーが出ると言っていたから、ここで言っているのは後半のシースも崩れかけたビームを見ている感じ。放射化測定（BN を使っていた。）でもフラックスを確認。その後の Nishimura さんの話は EUV の話であったが、質問は一般者がするような質問ばかり。（何で 13.5nm? など）ここにはだれも EUV の人間は来ていないのか？ 周りを見てもそういう気配は無かった。

Leemans は LBNL の加速での THz 発生の話。要するにレーザー wakefield で加速をしたいが、そのついでに THz を測ったら出たという感じの話。APS でも講演があったのでこれで二回目。さらに Roger にも話を聞いていたから 3 回目か。次の日の Geddes の話もまとめると。レーザーでガイドチャンネルを作ってインジェクション無しで加速を行う。レーザーは加速 wakefield 用の他に、プラズマ生成用、ガイドチャンネルを作る用などに分かれていて、時間シーケンスは、ガスパフ、プラズマ生成、チャンネル形成、メインでずどんというもの。密度は  $10^{19}\text{cm}^{-3}$  位で  $50\ \mu\text{m}$  径のチャンネルを作っている。結果は 3mm のチャンネルで 450mMeV を達成。チャンネルの伝播-透過したメインレーザーの割合は一番いいときで 40%（10TW）。メインが落ちると透過率も下がり透過パターンも汚くなる。果たしてこの 60% がいったい何に使われているのか？ それで定量評価されないと延長が果たしていけるのかどうか分からない。聞いたがそれは重要とだけで、具体的に損失への定量性は多分しないか、できないだろう。THz に関しては様はプラズマと真空境界を発生電子が通過するときに表面高調波のように発生するというもの。計測はエネルギーだけで、5nJ が出たというもの。面分布を仮定して 300nJ 位が出ていて、スケールリングも言っていて 100  $\mu\text{J}$  位出るという。正直あれで測れたというかどうかはかなり疑問だし、波形も測っていないければ、何にも分からないはず。しかも、あんだけ大きなレーザー（50fs,

10TW) であれば、GaAs の大面積化で十分出るし、ビームを曲げただけでも出る様な気がする。どう考えても現状で出来る成果をしめすために出したという感じで、目標の 10GeV を越えるビームが出来るかどうか本当のこの計画の明暗を分けている。

Kantsyrev は U of Nevada の NTF における X ピンチの話。MA に迫るマシンでピンチを起こさせ、X線を空間分解、波長分解で測定。なぜ MA にこだわるのか？ちょっと疑問。Z マシンは 10MA 級だし、それに匹敵するということらしいが、最終日に見学に行ったが、マルクスオイル付け、しかし上からのぞける。すなわち大気開放。ラインもそうでギャップは少し Rimfire がかっているが、電気トリガー、絶縁は水中でケーブルを 20cm くらいで 10 巻ほどしてインダクタンスをとっているが、明らかにケーブル被覆でとんだように真っ黒になっている。ラインの最終はマルチ水ギャップで大変そう。しかもトランスミッションラインで自動的にクローバーで  $\mu\text{s}$  以上続いているとか。要するにライン間が飛んでいるということで、まあ、あの程度であればどうせピンチ部もぶっ飛ぶからいいのか？電流も立ち上がりシャープにするというよりはフラットな設計。X線の計測で時間発展を XRD で行っているが、電流立ち上がり部と平坦部で 2 回高エネルギーの X線が出たりしている。最初は純粋なピンチで後は電流がフラットになることで不安定性が出てきてぐしゃっとなる時に出了ものでは？空間分解測定でも違い場所から検出。盛んに磁化プラズマであることを強調。これは天体プラズマ模擬を意識している。ただし、リコネクションを使おうとか解明しようとか模擬しようとは考えていない。全体としては PW を打ち込んで果たして何をどうするのか？が問題。このままでは磁場強度の強い中での原子分光学的ソースで終わるかも。Cowan の話だとまずは長パルスを打ち込むとか。どっちかのエネルギーが温度を決めて、うまく行けば磁場が膨張を抑えて、それだけのような気がする。

Sangster は OMEGA EP の話。あんまり Rochester では見ない顔。APS にも来ていたというが記憶に無かった。EP では 1~100ps と 35~100ps の仕様のを 2 ビーム用意する。何でこんなに長いのか？回折格子の制約、用意された全米共通光学系の制約などでなっているらしい。第一こんなに長いのに何で直接発振、増幅しないのか？少なくとも片方に関しては疑問。かなりぴりぴりしていて、日米でしゃべっているというよりアメリカの他の研究所の人間にしゃべっているという姿勢であった。

1 日目の最後は Scott がラボアウトロと PW レーザーの話。髪をすっかり切って大人になったスコットが中性子星のコア周辺のジェットの環境と PW レーザープラズマがどの程度かを考える話。後で本人に聞いたが、どこまで真面目かは分からないが、あういう突飛な話題も必要という感じのレスポンス。Rutherford の磁場発生の実験は出てきたが、講演では言わなかったが果たしてどこまで正確かは疑問に思っている感じ。高調波の計測法が果たして応用研究にも使えるかどうかはかなり疑問。輻射場はマイクロ Hohlraum を使って作る話。電子やイオンはともかく光子はそれでは閉じ込められない。現状の 300eV を越えることは出来ても果たして 10keV の輻射場を作りえるのかが疑問。50keV 位の X 線が冷たいプラズマで反射されるのかが問題だが、ちょっと見には難しい。本人もそうした質問に、そうね、それが問題。という答え。

#### 11/4 ワークショップ二日目

プログラムは目まぐるしく変わる。Cowan が来て座長をやってとその場で新しいプログラムを渡されたが、ポスターだけになったものも何件があった。最初は LBNL の Geddes の話。これは前にまとめたので割愛。次が SNL の Hanson の Z マシンのプラズマ側の話。発生部の輻射温度は 120eV 程度まで、ワイヤーアレーを使って二重 Hohlraum でそちら側は 100eV 位まで。二重にする理由は波形成型と高エネルギー光子、電子ビームなどによるプレヒート防止。半球のターゲットを使ってバックライトで圧縮を観測。1/2 程度に圧縮。しかし、どう考えても輻射が不均等でパンケーキ型にしか圧縮されていない。それでも 60g/cc,  $R=0.3\text{g/cm}^2$  が実現可能でそこに PW を打ち込んで実験する。問題となっているのはピンチ部での不安定性による電子ビームが 1st, 2nd キャビティ間の隔壁にあたって Bremsstrahlung が発生し、プレヒートが起きるといったもの。回避方法は 2nd キャビティを大きくする。しかし、これにより輻射温度も低下するからいい解法ではないだろう。半球上の圧縮時にレーザーを打ち込みやすくするために裏の平面部に凹みをつけて構造を作る方法なども LASNEX で計算されていた。Pat の時に質問したもっと PW で発生する高エネルギー電子のストッピングを考えた設計などは無し。パンケーキではなく円筒状の圧縮コアが出来たほうが有利な気がするが、あくまでも NIF のデザインワークとしての位置づけもあるのかも。

次は Mancini(U of Nevada)が高密度プラズマでの X 線分光の話。二電子励起状態

を含め詳細な準位計算モデルとオパシティモデルによって、実験で得られたスペクトルを再現して、空間分布も出してしまおうという研究。例えば、圧縮コアのようにある種単調な空間分布を仮定できる場合には、それを視線方向に積分したデータであっても、原理的に様々なスペクトルのオパシティを含めた強度分布を再現できる密度、温度分布は一つしかなく、それが答えというもの。時間分解され、さらに二価をとるような複雑な分布でなければ、モンテカルロ的な誤差関数を最小にする世代計算で答えに近付けるというもの。顔は優しいがやっていることを聞くとかなりすごい。原理的には可能であるが、答えが出るというのはかなり衝撃的。コアなどでなくもっと様々な応用ができ、単に時間発展さえ計測できれば、すなわち時間軸上でデータが二価をとらなければ再現できるから、非常に大きなツールになりえる。これが配付されるもしくはユーザーフレンドリになれば、Lee の FLY を越えるのではないか。ちなみに名前は LAMBDA。

休憩後は LANL の Hagrich の話。PW を利用したイオンビーム発生の話で、内容は前に Fernandez のところで書いた話。どう見てもトムパラのトレースが説明できない気がする。不純物が先に出るからそれは高エネルギーに加速されるというのはいいが、ではなんで加速に時間のかからない低  $A/Z$  のイオンほど順に最高エネルギー速度が変化しないのか？単に加速ギャップの変化だけでなく、引き出し過程に何かフィルターリング効果があっても当然いいはず。あのパルスイオンビームでも同じようなことが起きているのだから。

Kemp(U of Nevada)は PIC と MonteCarlo を組み合わせて電子の輸送を取り扱うというもの。流体近似側では Lee-More モデルを使っているが、Scott が質問したのは何で Desjarlais 改良版を使わないのか？答えは知らない。AI とカーボンで初期が金属状態と誘電体状態での違いを見るというもの。AI の場合は熱伝導によると見られる penetration が観測されるが C にはない。おおむね  $x/\lambda \sim 2 \sim 3$  の世界。その後自分の話だったので、少し conductivity の現状を説明する方向で話をした。質問をした Scott はつながったので喜んでいたが、残りの人はどれほど分かったかは疑問。

昼御飯のあとは Miyamoto さんの EUV の話で、やはり集まっているのがこの話には素人集団だった感じ。その後は Bruch (U of Nevada) がマイクロミラーを用いた IR-UV 分光器の話。どの程度すごいのかは？。後日見学にも行ったが、そこは無し。

Shlyaptseva (U of Nevada) は偏光分光の話とタイトルにはあったが、実際の話は高エネルギー成分でどの程度スペクトルが変化するかを調べた話。例えば K を見た場合、 $T=800\text{eV}$  の温度のスペクトルと  $T=200\text{eV}$  で  $5\text{keV}$  程度の高エネルギー成分が 2%程度あれば同等のスペクトルになってしまう。その後の Nishimura さんの話につながればよかったが、全然独立した感じに。Hansen(U of Nevada)はこの実験版のような話でクラスターからの放射を示した。Laval nozzle と conical nozzle では後者の方がクラスター密度が一桁程度大きく、そこにレーザーを照射してプラズマを生成させた場合のスペクトルで  $5\text{keV}$  の電子を仮定した場合の話をした。

最後に Hakei (LANL) が偏光分光のアライメントモデルの話をした。Scofield が言っているような再結合放射もいれて計算をし、どうしても再結合放射の方が強くなるので、偏光度の低下具合などを計算していた。後で直接聞いたが(最後の日はたまたま彼の車で送ってもらうことになったので)この話は、97年くらいにやっていた話で、彼としてはいささか終了したテーマについて話したということであった。しかし、藤元先生が言っていたコードらしきものがちゃんと97年当時にあったとは少し驚いた。コンピュータのふんだんに使える環境では力でも計算ができるからかもしれないが。

その後タイ料理レストランでバンケット。Scott は森田さんの生活を聞いてえらく受けていたが....。

最終日が NTF(Nevada Terawatt Facility)で開催された。まず、あまりにも早く着いたのでラボツアーをすることに。といっても何も無かった。ここが発振器室になるところ、テーブルがビニールにまかれた状態で何も光学系は無し。ここが増幅器室、ターゲット室。がらんどんで音が反響しまくり。空調も無し。唯一Zピンチマシンだけはあって、そこは、元、軍のコンピュータ室で近くで水爆が爆発しても中のものが守られるように頑丈に作られた建物であるとか。マシンは前述したような感じ。計測ルームは金属のカーゴになっていて、昔のプラ研のような感じ。部屋はきれいで、レーザーをここに持ってきた場合、振動で回折格子のアライメントなどがずれるんじゃないかというのを Tom はしきりに心配している。計算機の部分では 48 クラスタをつないで(自分たちで)高速化させようというものを用意中。こちらはさすがに出来そう。したがってしばらくは理論始動か。レーザーの first shot は来年 6 月に設定されているが、壁に貼られた計画書ではかなり無理があるような感じと、現状で何も無いし、レ

レーザー技術者も数がない感じ。レーザーのプロジェクリーダーはフランス人の女の人で自らやるという感じはあまり見受けられなかった。唯一レーザーがあったのはロシア人が作っているもので、ポンプレーザーとシードの無い再生増幅器、すなわち Q スイッチレーザー。空間フィルターは空気中で、cleaveland のポッケルスが二段になっているもの。将来は超短パルスの再生増幅器になるのだろうが。よく考えると去年の三月に GA で行ったワークショップでも計画はこんなもんでという話が出ていたが、それと見た目はあまり変わっていない感じ。Tom が来てリーダーシップを発揮するようになったということだけが期待。U of Nevada の新聞でも大きな予算を運んできたとして注目されていた様子。スタートは Sentoku さんの話で高密度プラズマ中のオーバードレンスに対する異常侵入の話。阪大で行なわれた 20TW の結果を示してそれに PIC の結果を合わせたもの。位相が関与することで 10%程度ボーリングスケールからずれることが PIC シュミレーションから出たというものの、実験的なエビデンスは無し。第一実験条件を  $1\mu\text{m}$  レーザーが  $2\mu\text{m}$  まで絞れて 20TW のレーザーで  $6 \times 10^{20}\text{W}/\text{cm}^2$  まで強度が上がっているとするのはちょっと無理がある。それ以外にその程度のボーリングであれば KrF でやれば何も無しで 10 倍稼げるとか、フランスでもこの実験があってその時も 20 倍くらいはかせげた結果だったとかのコメントがでた。

Todd Ditmire が次にしゃべったが、彼は昨夜の夜遅くにホテルに学生二人を連れて到着。どう考えても何で来たのかが疑問。彼は現在 U of Texas に移っていて Dawson らと UTA PW project を立ち上げようとしている。GA の計画が潰れ、LLNL の新しいのも無く、Reno と Rochester が唯一最近では通った話なのに、何でまた Texas に出来るのか？通るのかが不明。(宮永さんは大統領の出身地だからというが.....) 中身は彼がこれまで行ってきた実験のレビュー+ラボアストロを含めたもので、クラスターの実験、ショックによる加熱された AI の後面を反射率と干渉計で動きを見た実験など。クラスターを用いた中性子発生は応用のためには  $10^9/\text{shot}$  が必要でそれに向けて PW を整備する。warm dense plasma はレーザー加熱だとしんどいのでレーザー照射プラズマからの K で加熱する。しかし、効率はいまいちなので PW を使う。磁場を含めたレーザープラズマはアストロで面白いのでやる。と言った感じ。(自分のところで困っている問題をふるのはフェアではないが) 彼に後で K で照射して温度をどうするっと聞いたら、それは問題だよな。エネルギー付与率は明らかだけど。という答え。

ちなみに melting は 3 でモニターするつもり。それも果たしてどこまで行けるか？信用できるかは？なのであるが。（通常の液体金属のゆっくりとした変化では対応可能。）

その後は Cobble が LANL の TRIDENT の話をまとめてして、私が EUV プラズマの話をし、もう一人 Merabet (U of Nevada) が分子線的な実験での偏光放射特性などの話をして会議は終了。

昼御飯はサンドイッチでほお張りながら U of Nevada の人が来て、EUV モデルについて議論。私が LTE で計算したものが彼らは CRE で計算していて温度-密度空間での曲がり方が反対になるというもの。ただし、彼らとしては効率などの議論は出来ず、あくまでも原子物理学的な見積しか持っていないため、えらく興味を引かれた感じであった。こちらのモデルがあくまでもシンプルであるということも理解した上でも興味を示していることが、現状の研究動向か。

その後、U of Nevada のメインキャンパスに行く。分光器を見せてもらう予定が、まず X 線分光器は他所へ行っていてキャリブレーション中とのこと。分子線の装置が何台かあって、各グループがそれぞれテーマをもって断面積などを測っている感じ。マシンルームに行けば三人の技術者がいて、NC が二台。フライスなどもマグネスケールをつけて精度がモニターできる様になっている。外には 30cm x 2m 位の木箱があってそこには電子部品のジャンクがいっぱい。何でも企業からあまったものを頂いてくるらしく、完全に廊下において学生のために解放しているとか。もっと大きな箱が屋外にあって、そこにはもっといっぱいあるよと言っていた。建物から出てくると U of Nevada キャンパスの建物はすべてレンガのような模様を建物の表壁にしていることに気づく。空港まで送ってもらって、終了。その後、サンフランシスコに到着。BART が空港まで乗り入れるようになったので、空港横のホテルであったがご飯を食べに downtown まで気軽に安く、夜でも出れるようになった。翌日は朝の飛行機で日本に帰国。どっかの修学旅行団体と重なったためか、ビジネスにアップされていて、快適な旅をおくらせてもらいました。