

12th International Workshop on Radiation Damage to DNA に 参加して –故 Bernhard 博士と共に–

今回はチェコのプラハにおいて6月2日–7日の6日間に渡り開催され、117人の参加者により口頭発表、ポスター発表それぞれ合わせて102件の発表が行われた。本印象記では、読者に特に興味ある分野としての化学及び物理学的視点から見た私の印象を記すと同時に、本ワークショップの直前に急逝したオーガナイザーの一人でもある米国・ロチェスター大学の Prof. William A. Bernhard を偲ぶ章を最後に記す。



写真1 プラハの街の風景

1 DNA 損傷の物理化学的過程に関する研究

DNA 損傷生成に関する物理化学的過程に関する最近の動向については、初日に米国オークランド大学の Dr. A. Adhikary によりレビューされた。彼は Dr. M. D. Sevilla のラボのスタッフで、細胞内のような高スキャベンジング環境では水の放射線分解で生じた OH ラジカル等の多くが DNA に到達する前にタンパク質、グルタチオン等で捕捉されてしまい、結果として間接効果が抑えられ直接効果タイプの損傷が全損傷のうちの 50% 程度にまで達する事を解説した。また直接効果や間接効果のメカニズムの解明に向け Norrish 型光化学反応及び量子化学計算により、部位選択的に生起させた DNA ラジカル過程に基礎を置く最近のラジカル化学における進展が紹介された。一方、電子付着により誘発される DNA 損傷機構についての発表が多数あった。低速電子の分子への結合（付着）による化学結合解離（dissociative electron attachment, DEA）は、すべての放射線のトラックエンドで起こり

える普遍的な現象であることから低線量の影響を評価する上でも無視できない要素とされ、従来からカナダのシャープルック大学の L. Sanche 達のグループを中心に精力的に研究が行われてきた。今回も、同グループを含めた複数のグループから低速電子付着による DNA 損傷についていくつもの講演があり、さらにこの現象に関する量子化学的シミュレーションまで発表され、いまだにこの領域が活発に研究されていることが出席者に印象付けられた。一方、DNA 分子上の電子・正孔移動による損傷の生成メカニズムや DNA と DNA に強固に吸着した水分子との間に生じる電荷移動などについても発表があった。Bernhard 研究室の P. J. Black は古典的な EPR を用いながらも、試料を特定の配列のオリゴヌクレオチドを用いることで AT 対が長く続く DNA 鎖状では電荷移動の結果チミンあるいはシトシンに電子がトラップされることを見出した。またチェコ物理研究所の I. Kratochvílová は理論的な計算により電荷移動をシミュレートし、ミスマッチ配列や脱塩基（AP）サイトなど DNA 上の異常な構造により電荷移動が大きく阻害されることを報告した。これらの研究の多くで、阪大産研の真嶋等の光受容体修飾オリゴ DNA を用いたホール移動に関する先駆的な研究が引用されていたことは、ここで特に記しておきたい。Monte Carlo 法によるトラック構造と DNA 損傷の関連についての研究分野については、東カロライナ大学の M. Dingfelder が専門でない研究者にもわかりやすいレビューをしていたが、より詳細な DNA 鎖切断機構については、DNA 鎖切断の原因となるデオキシリボースのイオン化効果についてフランスの CNRS-UPMC の M.-A. Hervé du Penhat 等が理論と実験を直接比較する内容の発表が印象に残った。彼らは、光電効果により生じた 2 価のデオキシリボース正イオンとその後の分子崩壊過程を実験及び ab initio MD 計算により調べており、両者が良く一致する事を報告していた。彼らの最新の成果が Phys. Rev. Lett. に掲載されていることからわかるように、今後このような理論と実験を両面から進める研究がさらに増えて行くことが期待される。Hervé du Penhat のグループと私たち原子力機構のチームは共同で、水を周囲に配し、より生体に近いデオキシリボース薄膜を試料として用い、脱離イオン分析実験を SPring-8 で、またその理論

解析をフランスで相互に展開する予定である(2012年度, 原子力機構国際黎明研究採択課題)。

2 生体レベル及び分子生物学的レベルにおける研究

DNA 損傷の酵素修復については, DNA と修復タンパク質がそれぞれ 1 分子同士が反応している様子を, 新規蛍光プローブ観測法により可視化することに成功した成果が米国・パーモント大学の S. Wallece によって発表されるなど, 技術革新による 1 分子計測が今後も大きく進展する気配を感じた。Wallece 等はピンと張った DNA ワイヤーに量子ドットでラベルした塩基除去修復タンパク質 (Fpg) を結合させ, この量子ドットの DNA ワイヤー上での運動をビデオ撮影したものである。DNA の分子軸方向に二重らせんに沿った回転運動をしながら行き来をする量子ドットの映像は, 聴衆の目をくぎ付けにした。彼らは単にビデオを撮るだけでなく, 変異した酵素 (mutant Fpg) も作成し, その分子ワイヤー上の運動の周波数解析を行い, 拡散運動の速い成分と遅い成分を分離して議論していた。この 10 年来の重要なテーマである DNA 上の複雑損傷 (クラスター損傷) については, この領域を主導するオックスフォード大学の P. O'Neill 等のグループ, フランス・CNRS の E. Sage 及びカナダ・アルバータ大学の M. Weinfeld 等が, それぞれクラスター損傷に対する生体応答を様々な角度から考察しておりこの分野が成熟の域に達した印象を受けた。これ以外に印象に残った発表は, 今回のワークショップ主催者であるチェコ・原子核物理研究所の M. Davidcova が, チェコ共和国の Dolní Běžany において建設中のレーザー駆動を基礎とする新しい超光源施設 (ELI) におけるビームラインを用いた DNA 損傷研究の展望である。超短パルス, 超高フラックスを利用した新しいサイエンスを開拓する意気込みが, EU の中でもこれまでそれほど目立たなかった国 (と言っては失礼かもしれないが) から提案されたことは, 少々意外であったと同時にとても興味をひかれた。もちろん日本を含め, 欧州や米国には自由電子レーザーの施設が建設中であるが, これらの云わば“高嶺の花”を利用しようとする DNA 損傷研究者はそれほど多くは無い。それをチェコがやってのけてくれるのであれば痛快であり, 是非将来 (EU 以外にも開放されるとのことなので) この施設で実験をしてみたいと思った人は, 私以外にも多かったのではないかと思う。

3 日本からの contributions

本ワークショップには日本からも, 私を含めて原子力機構から 7 名の参加があった他, 広島大学, 長崎大学, 佐賀大学, 大阪府立大学, 東京農工大学, 電中研, 放医研等, 多くの研究グループからの参加があり, それぞれが口頭発表やポスター発表で積極的に世界の研究者と議論をしている様子が印象的であった。そのような中でも今回, 茨城大学と原子力機構との間の総合原子科学プログラムによる修士課程 (2 年次) の学生 3 名が参加し, ポスター発表を行った。最初こそ緊張している様子の彼らであったが次第にワークショップの雰囲気にもなじみ, 朝はプラハのクラシックな街をジョギングしたり, またポスター発表の時間帯には仲良くなった若手の外国人研究者を別の学生のポスターに (客として) 連れてくるなどという, たくましい行動も見られた。原子力機構では, 次世代の若手研究者の育成の観点から機構が認定した特別研究生には海外出張も認めるという画期的な方針を昨年度より実施している。自身の所属機関に言及するのは多分に気が引けるが, 優秀であれば学生であっても海外出張を支援する制度をいち早く開始したことは, 今後の人材育成に大きく貢献すると期待される。

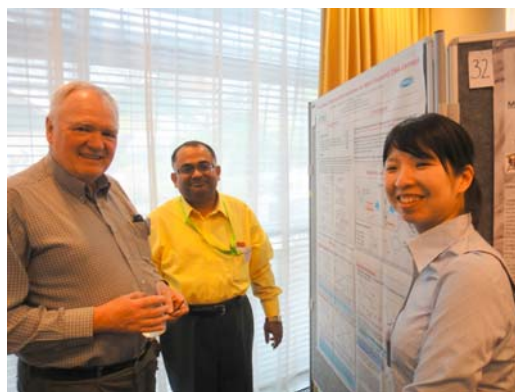


写真 2 ポスター会場にて

4 故 Prof. William A. Bernhard を偲んで・・・

本ワークショップをその設立当初から牽引してきたのは, ロチェスター大学の Prof. William A. Bernhard である (以下, 親しみと敬意を込め, 生前そうしてきたように Bill と呼ぶ)。彼はその生涯を DNA 損傷生成の物理化学的初期過程の研究に捧げてきたが, 69 歳

という若さでその生涯を閉じた。僅か数ヶ月の闘病生活においても、学生やポスドクを自宅に呼び、なんと最期の日の4日前まで精力的にゼミを行っていたそうである。しかし今回のワークショップまであと1ヵ月もない5月9日に、家族や孫、多くの友人に囲まれて、彼の愛した残りの研究テーマを携えて天上に昇って行ってしまった。ワークショップの冒頭に主催者の M. Davidkova らによる追悼講演があり、彼のこれまでの足跡が紹介された。

私は個人的にも、Bill から少なからず研究面においてサポートしてもらった。今回のワークショップでも発表しているのであるが、私たちは SPring-8 の軟 X 線のビームラインに EPR 装置を直接接続し、これを用いて内殻イオン化に伴い生成する DNA 不対電子を観測している。放射光と EPR の組み合わせによる DNA 分子ラジカルの観測というこのユニークな研究の原点は、伊藤隆東大名誉教授と Bill がそのアイデアを温めた 1993 年頃に遡る。私を含め 3 人（高倉かほる先生 (ICU)、渡邊立子博士 (原研) いずれも当時) がチームを作って 94 年の早春に雪深い口チェスターに Bill を訪ね、EPR の基礎を学ぶ機会を得た。Bill を含めラボのスタッフに 1 週間に渡り EPR の実習をさせてもらったのであるが、私にとっては初めて海外の研究室の日常に触れる事ができ貴重な経験であった。理由は忘れてしまったが彼のラボで何かのお祝いがあった時の、デリバリーのピザを頬張りながらのガッツポーズは、私にとって良い意味での典型的アメリカ人研究者の姿として目に焼き付いている。休日には広大な庭(というより山一つ)のある自宅にも招いて頂き、30 分の散歩コースを愛犬と共に雪の中を歩いた事もあった。

Bill は EPR を使った DNA ラジカルの先駆的な業績をいくつもあげる同時に、最近では HPLC や生化学的手法も併用しながら DNA 損傷生成の物理化学的初期過程の研究成果も発信してきた¹⁾。しかし彼を良く知る人々は、彼の研究に対する情熱だけではなく、彼の優しさやユーモアにも魅了されたことに異議を唱えないであろう。彼のラボで Ph.D を取得した学生やポスドクの多くがその後もこの分野に残っており、優秀な

指導者でもあった。Bill のラボから発表される実験結果は、私たちが日本で行っている実験と一見矛盾していることが多かった。彼はそれを、「パズルの謎解きだ！楽しもう！」と、国際会議でも多くの時間を私との議論に割き様々な suggestion や二つの結果の矛盾を埋めるための実験のアイデアを与えてくれた。しかし楽しみにしていた彼との議論も、昨年ワルシャワで開催された ICRR が最後となってしまった。私は、これからもパズルのピースを埋め続けるつもりである。それが Bill に対して、私ができる唯一の恩返しである。

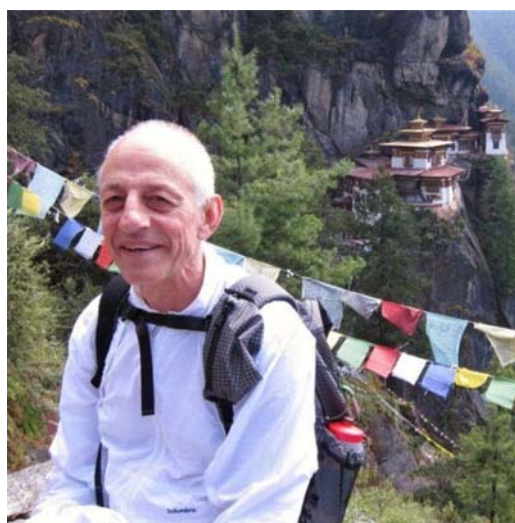


写真 3 元気な頃の Bernhard 教授

参考文献

- 1) W. A. Bernhard and D. M. Close, DNA damage dedicates the biological consequences of ionizing irradiation: The chemical pathways, in: A. Mozumder and Y. Hatano (Eds.), Charged particle and photon interaction with matter, Chemical, physicochemical, and biological consequences with applications. Marcel Dekker, New York, 2004, pp.431-470.

(日本原子力研究開発機構 横谷 明徳)

IPAC'12 参加報告

平成 24 年 5 月 20 日から 25 日にかけてアメリカ・ニューオーリンズで開催された国際加速器会議, International Particle Accelerator Conference 2012 (IPAC'12) に参加させてもらったので, 会議の様子や講演などについて報告したい。IPAC は一昨年に第 1 回が日本の京都で, 昨年の第 2 回がスペインのサンセバスチャンで開催され, 今回は初のアメリカでの開催となった。

この会議では, 世界中から加速器に携わるあらゆる分野の研究者, 技術者が集い, ポスターセッションや口頭発表などを介して情報交換を行った。筆者の印象では CERN (欧州原子核研究機構), SLAC 国立加速器研究所からの研究者が特に多かったように感じた。しかし中国やインドからの参加者も多く見受けられ, アジアにおける加速器研究が拡大しつつあることを実感した。学生の筆者にとっては初の国際学会であり, 世界中にこれだけ多くの人々が加速器に関連した研究を行なっていることに圧倒されたとともに, 大きな刺激となった。



写真1 オープニングセレモニーの様子。

会議は初日の日曜日に Student Poster Session が行われ, 月曜日から金曜日にかけては Invited Oral Presentation, Contributed Oral Presentation, Poster Session 等が行われた。筆者は Student Poster Session と Poster Session で発表させてもらった。会議のスタッフの方が自分の発表に興味を持ってくれ, 激励してくれたことが非常に嬉しかったのを覚えている。中には「こんなのできっこない」といった意見もあり, 今後はこのような意見を覆す結果を出さなければいけないと思っ

た。ポスターセッションの会場では企業のブースも設けられており, 日本の企業では TOSHIBA が出展していた。

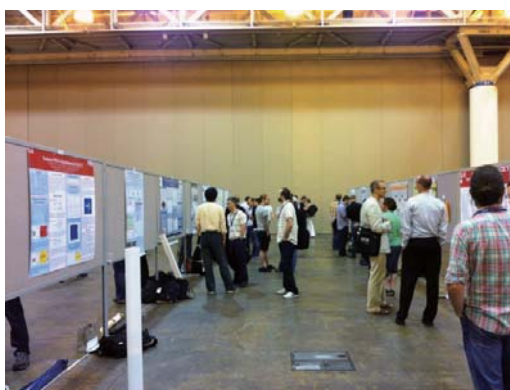


写真2 ポスターセッションの様子。

筆者は特に短バンチに関する研究を行っていたため, 同じように短バンチを実現している研究発表や短バンチからのコヒーレント放射でテラヘルツ波を生成している研究発表に興味を抱いた。バンチ長が数十フェムトと非常に短いバンチ長を実現しているチームも見られた。また X 線源としての応用や医療応用に関する興味深い研究発表も多く見られた。Invited Oral Presentation や Contributed Oral Presentation では次世代の X 線源として期待されている XFEL (X-ray Free Electron Laser) や世界の ERL (Energy Recovery Linac) の現状など加速器業界の中でも最先端の議論がなされたようである。

学会の 5 日目の午後には Banquet が盛大に行われた。ニューオーリンズはジャズ発祥の地として有名であり, Banquet では本場のジャズの生演奏を聞きながら参加者は食事とワインを楽しんだ。

今回の学会ではとにかくその規模の大きさに驚かされたとともに, 加速器科学の分野は物理学の中でも大きなウェイトを占めていることを実感し, 社会が発展していく上で必要不可欠なものであると感じた。次回の IPAC'13 は中国の上海で開催されるので新たな結果を手にして是非とも参加したい次第である。

(早大理工研 小柴 裕也)

2012 Gordon Research Conference on Radiation Chemistry 参加報告

2012年7月29日から8月3日までの6日間、アメリカ東部ニューハンプシャー州アンドーバーにて2012 Gordon Research Conference (以下GRC) on Radiation Chemistryが、William A. BernhardをChairとして企画されたが、この会議の前に亡くなられたので、Jay A. LaverneをVice Chairとして行われた。GRCは、1931年John Hopkins大学のNeil E. Gordon教授により開始された歴史と権威のある国際科学会議群の総称であり、会議は生物学、化学、物理学など多くの分野にわたり、近年では200以上の会議が開催され、米国だけでなく欧州、アジアなど世界中の科学者が参加している。未発表の研究や最先端の研究の自由な議論や意見の交換を主目的とするために、通常の国際会議のような要旨集は無く、会議の写真や録音なども禁じられている。GRC on Radiation Chemistryは、1953年から始まった物理学、化学、生物学、産業における放射線プロセスに焦点を当てた会議であり、米国を中心に、カナダ、欧州、アジアなどから約110名が参加し、2件の基調講演、20件の招待講演、6件の若手研究者講演、75件のポスター発表が行われた。



写真1 会議会場に向かう人達

7月29日午後ボストン空港近くのホテルからバスで2時間半ほどでProctor Academyに到着した。到着すると全員が、夏休みのために学生が不在となった学生寮に入寮した。学生寮はきれいに片づけられており、部屋にはベッドと机とチェストがあるのみで、トイレとシャワーも共用だったが、さすがにインターネット環境は整備されていた。筆者が特に驚いたのは部屋の

鍵が渡されなかったことで、部屋は基本的に開けっ放しだった。また周囲には森と湖しかなく、ガソリンスタンドに併設したコンビニが唯一歩いて行ける売店だった。更に言うと、観光できるような場所も車で数時間移動する必要がある、安全で静かな環境以外に本当に何も無く、食事やアルコールを飲むのにも集まる必要があり、議論するしかない環境が用意されていた。

朝、食堂で朝食をとり9時から12時半までが午前中のセッション、その後食堂でランチを食べて、午後は4時までフリータイム。4時から6時までポスターセッションがあり、その後ディナーを食べて、7時半から9時半まで夜のセッション、さらにポスター会場に戻ってアルコールも飲みながら夜遅くまで議論が続いた。今回の各セッションのテーマは、エネルギー吸収から損傷に至るまで、トラック構造と低エネルギー電子線、若手研究者発表、DNAとタンパク質、産業と医療応用のための放射線架橋高分子、宇宙放射線化学と生物学、放射線事故後の線量評価、ナノ粒子と表面界面、原子力と廃棄物処理であり、各セッションで世界最先端の研究者が発表し、熱心な議論がなされた。日本からは、阪大の田川先生、真嶋先生、吉田先生のグループ、金沢大から高橋先生のグループ、北大の渡辺先生のグループが参加した。特に阪大の樋川さんは若手研究者アワードに応募し、フェムト秒パルスラジオリシスによるアルコール中の電子の溶媒和過程の研究を口頭発表する栄誉を得た。ロシアのFeldman先生、BNLのWishart先生らと熱い議論がなされた。筆者はフェムト秒パルスラジオリシスによるドデカン中の放射線化学初期過程の最新の成果をポスター発表し、アメリカBNLのグループ、ノートルダム大のBartels先生、フランスのCEAのグループの研究者と議論することができて非常に有意義だった。特に、アメリカBNLで仕事をされている日本人の神戸先生と知り合い、イオン液体の放射線化学からパルスラジオリシスの装置開発に至るまで議論することができて大変有意義だった。神戸先生には、午後のフリータイムに近くの湖までショートドライブに連れて行っていただき、この地方の街の雰囲気を感じて楽しい時間を過ごした。

最後に驚いた事を少し書くと、GRCでは次回のChairを投票で決めるが、今回のChairが候補者数名

をノミネートし、会議参加者全員、当然筆者にも投票権が与えられ、その投票により決められた。こんなことは初めてで、日本では考えられない事であり、アメリカの精神の一部を垣間見た気がして大変に驚いた。

GRC は議論が活発で語学的にかなりしんどい会議ではあるが、私もいつか口頭発表して議論を尽くしたいと思いました。

(大阪大学 産業科学研究所 近藤 孝文)

Royal Society Discussion Meeting 参加報告

2012 年 2 月 9-11 日にイギリス・ロンドン郊外の Buckinghamshire の Kavli Royal Society International Centre で開催された The Royal Society Discussion Meeting とその Satellite Meeting に参加したので、報告する。

The Royal Society Discussion Meeting (RSDM) は、イギリスにいる研究者が co-organiser に入れば外国人研究者でも国際会議の開催申請ができる。申請が通ると Royal Society のスタッフがプログラムの作成から参加者への案内など会の運営をすべて担当してくれるため、organisers も discussion に集中して参加できる点が素晴らしい。今回の RSDM は、T. Oka (U. Chicago), M. Larsson (Stockholm U.), S. Miller (U. College London), and S. Schelmmmer (U. Köln) の 4 名が organiser となって“Chemistry, astronomy and physics of H_3^+ ”という題目で開催された。Prof. T. Oka は 2000 年より 6 年ごとに H_3^+ に関する RSDM を開催しており、今回は 2006 年に続いて 3 回目の開催となる。筆者の研究は H_3^+ ではなく H_6^+ であるが、新しい水素イオン分子の研究として発表の機会を与えて頂いた。



写真 1 Chicheley Hall. 宿泊・食事・懇親会がここで行われた。



写真 2 Wolfson Centre. 古い建築物との調和を保ちながら会議用の最新設備が整っていた。

会場の Kavli Centre はロンドンの北西約 80 km に位置し、周囲を畑に囲まれた中にぽつんと存在していた。その中には、18 世紀前半に建築された Chicheley Hall (写真 1) と、Wolfson Centre (写真 2) があり、前者は参加者の宿泊・食事・懇親会に、後者は会議に使用された。早期の気温が -10°C 位で雪がちらつく中、欧米を中心に約 100 人の研究者が集まった。この中に Oka, Amano (U. Waterloo), Goto (Max-Planck Inst.), 筆者(名大)の 4 名の日本人研究者がいたが、日本の研究機関から参加したのは筆者だけであった。

H_3^+ は 1911 年に J.J. Thomson によって発見され、1980 年に T. Oka がその赤外吸収スペクトルを観測したのちに、星間の H_3^+ が 1996 年に検出され、その後銀河中心、dense & diffuse cloud にも H_3^+ が存在することが明らかになった。宇宙放射線が H_3^+ の生成に寄与している他、 H_3^+ が C や O の酸化剤として働き、様々な炭化水素分子生成に寄与していることが明らかになってきた。従って、 H_3^+ に関する研究は物理・化学の実験・理論の基礎研究がベースとなって、様々な環境の

宇宙空間における生成原子・分子の物理状態及びその反応の探求という天文学へ展開されている。会議は、 H_3^+ の分光学と理論、 H_3^+ の化学反応、 H_3^+ の電子付着解離機構、宇宙線のベストプローブとしての H_3^+ 、銀河中心、星間分子の化学反応、惑星電離圏の 7 つのセッションから構成され、天文学・物理学・化学・理論科学の研究者が一堂に会して議論を行う密度の濃い会議となった。宇宙線が原子や分子と相互作用した後の反応を探るって、これってまさに「放射線化学」でしょうと思いながら、一方でこのような研究は最近の放射線化学討論会で聞かれなくなったなと思いつつ、多くの最新研究を拝聴した。

筆者の H_6^+ に関しては、最初はあまり興味を持たれなかったが、このような水素分子イオンが存在することを初めて知った方も多く、ディスカッションを通じて理解して下さる方が少しずつ増えていった。ショックだったのは、「ESR って何？」という質問を複数の方から受けた事。確かにこの場で発表された他の殆どの実験・観測は赤外分光を用いたものであるが、 H_6^+ のように対称性の高い開殻分子の場合は ESR はとても高感度で優れた分析手段であり、このことをもっとアピールせねばと思った次第である。著者個人の興味としては、米国の L.B. Knight のグループが固体 Ne マトリクス中で振動基底状態の H_2^+ と H_4^+ の ESR スペクトルの観測に成功したことである。 H_2^+ は H_2 とイオン分子反応して H_3^+ と H になるため、気相以外で H_2^+ が観

測されたことはなかった。また、 H_4^+ は著者等も照射固体パラ水素中に生成していないかサーベイした化学種であったが観測されなかったものである。Ne マトリクスと H_2 の適度な濃度比がこの H_4^+ の発見をもたらしたようである。

初日の夜には J.J. Thomson H_3^+ Centennial Dinner が開催され、H. Kragh (Aarhus U., Denmark) が“A Controversial Molecule: The Early History of H_3^+ and H_3 ”と題して講演を行い、1895年に既に三原子分子について議論されていたこと、Bohr が co-linear な三水素原子分子を提案していたこと、1911年の J.J. Thomson による H_3^+ の発見もその後 14 年かけてようやくそれが確かであると確かめられたこと、その間には H_2 に α 線を当てると体積が収縮するので $3 H_2 \rightarrow 2 H_3$ という反応が起こって H_3 という三原子水素分子ができていたという報告があったことなど、分子科学の黎明期を知ることができた。

最終日(土)は Satellite Meeting であったが、筆者の所属専攻の修士論文発表会が翌週月曜の朝から始まるため、午前中のセッションまで参加して後ろ髪を引かれる思いで会場を後にした。ロンドン市内は殆ど何も見ることができなかったが、ヒースロー空港のあちこちにロンドン五輪のマスコットが掲げてあった。次回の H_3^+ の RSDM 開催は 6 年後の 2018 年とのこと。是非次回も参加したい。

(名古屋大学大学院工学研究科 熊谷 純)