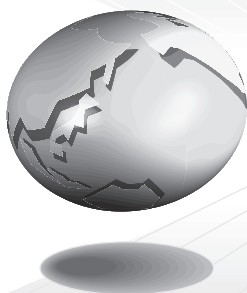


学術交流委員会だより



平成 22 年度 海外短期留学報告書

派遣員 林 直樹 藤田保健衛生大学

留学先：ミネソタ大学医療センター放射線治療部

期 間：2010 年 7 月 24 日～8 月 27 日

1. ミネソタ大学への留学

私は短期留学に先立ち、フィラデルフィアで開催された米国医学物理学会(AAPM)に参加した。AAPM 参加は自分の研究演題の発表のためであったが、AAPM 会場にてミネソタ大学でお世話になる Yoichi Watanabe 教授にお会いしてミネソタ滞在中の研究打ち合わせを行った。ミネソタ大学留学は1カ月という短い期間のため研究を効率よく進めなくてはならないので、私は打ち合わせを元に研究に関係する業者のブースを回って情報を収集した。今にして思えば、ミネソタ大学留学は AAPM 参加から始まっていたといっ

ていいかもしれない。AAPM 終了後は日本には戻らずに直接フィラデルフィア国際空港からミネアポリス・セントポール国際空港へ移動した。空港からミネアポリス中心部まではライトレールと呼ばれる電車で繋がっており、移動はとても便利である。私はミネソタ大学まですべて公共交通機関で行くことができた。

ミネソタ大学は 1851 年に設立された州立大学で、ミネソタ州内に四つのキャンパスを所有している。学生数は 5 万人を超え、全米でも有数の規模を誇る。ミネソタ大学医療センター(UMMC)はメインキャンパスであるツインシティ校のイーストバンク地区にあり、市内中心部からバスで 15 分程度とアクセスも良好である。私は UMMC の放射線治療部医学物理室に外部研究員(visiting fellow)という形で籍を置かせていただいた。留学の目的は UMMC における各職種の業務内容や治療の流れ、品質保証/品質管理(QA/QC)の手法を把握することと放射線治療に関する研究を実施することである。Watanabe 教授のご厚意により、私のためにオフィス(個室)を用意くださり、病院にいるとき以外はオフィスで作業できるようにし

ていただいた。

2. UMMC での放射線治療体制

UMMC で放射線治療にかかわる職種と役割を Table 1 に示す。Table に示すほかにも数名のレジデント(放射線腫瘍医、医学物理士)、加速器エンジニアや事務員も存在する。日本と異なるのは線量計算士という職種が存在することであり、完全分業化で各職種の業務が明確にされていた。各職種は基本的に担当業務以外のことには立ち入らず、それぞれの責務を果たしていた。

UMMC では治療機器として直線加速器 2 台(Varian, Elekta)、トモセラピー 1 台、ガンマナイフ 1 台、高線量率小線源照射装置 1 台、大口径 CT シミュレータ(16 列)1 台、治療計画装置 6 台で 1 日当たり 70~80 人の治療を行っていた。そのうち体幹部定位放射線治療(SBRT)や強度変調放射線治療(IMRT)のような高精度照射は 20~25 件程度であった。ほとんどが外来での照射であり、入院にて治療をするのは重篤な症状を併発している患者や低線量率小線源治療程度であった。

リニアックを用いた高精度照射のうち SBRT では、基本的に RTOG の定める基準にのっとり照射が行われていた。呼吸管理は腹部圧迫併用の自由呼吸下での照射が採用され、治療計画は 4DCT を撮像して MIP 画像から ITV(internal target volume: 内的標的体積)を見積もっていた。投与線量は 48 Gy/4 Fr が主流であるが、異なる分割回数の場合は生物学的等価線量が 100 Gy を超えるように設定されていた。IMRT では SMLC 法が採用されており、おもに頭頸部では 9 門、骨盤部では 7 門での固定多門 IMRT で

Table 1 ミネソタ大学における放射線治療にかかわる職種と役割

| 職種名(和名) | 職種名(英名) | 人数 | 基本的な役割 |
|------------|----------------------|-------|----------------------------|
| 放射線腫瘍医 | Radiation Oncologist | 6 (5) | 診察, 小線源治療, 治療計画の指示および承認 |
| 医学物理士 | Medical Physicist | 5 (1) | IMRT治療計画, 品質管理業務, 研究と教育 |
| 線量計算士 | Medical Dosimetrist | 3 | 治療計画の立案と線量計算, 患者照合システムへの転送 |
| 放射線治療技師 | Radiation Therapist | 7 | 治療計画用CTの撮像と照射業務 |
| (治療担当)正看護師 | Registered Nurse | 4 | 患者の状態管理とケア |

人数はレジデントを含まない。()内はレジデントの数

照射されていた。治療時の位置照合は kV-CBCT (cone-beam computed tomography: コーンビーム断層撮影)によって行われ、高精度照射に関しては毎回撮像が行われていた。トモセラピーによる IMRT はリニアックで IMRT が行えないような部位が広範囲にわたる症例や固定多門よりも良好な線量分布が見込まれる症例が対象となっていた。また、バイトブロック併用のステレオフレームを利用した定位照射も行われていた。

ガンマナイフによる定位放射線照射は、放射線腫瘍医・脳外科医・医学物理士・専属看護師のチームによって実施されていた。私は以前にガンマナイフに携わっていたが、印象としては治療患者の症例分布にわずかな差はあるが、治療方針に大きな差はないと感じた。しかし、ガンマナイフ治療実施のためには放射線腫瘍医と医学物理士が必須であり、そして日本よりも診療報酬が高額となっていた。また、私が何よりも驚いたことは基本的に局所麻酔のみで治療を実施して外来治療で完了するということである。患者は朝5時に来院して朝一番にフレームを装着され、午後には治療を完了し、夕方には自身の足で帰宅することができる。日本では短期入院での治療が主流であるが、この治療過程の違いの原因には患者自身の社会復帰への考え方や診療報酬システムの違いが大きく働いているものと考えられる。

3. 医学物理士の日常

UMMC での医学物理士のおもな業務は、通常業務、オンコール物理士業務、研究と教育に分けることができる。

通常業務としては、担当している機器の定期 QA の実施や担当患者の治療計画および検証、週間治療チャートチェックが挙げられる。UMMC の医学物理士は各自担当の放射線治療機器を持っており、患者照射の空き時間や照射終了後に定期 QA を実施する (Photo 1)。そのため、担当機器の照射患者数が多い場合には QA は早朝もしくは時間外に実施されている。

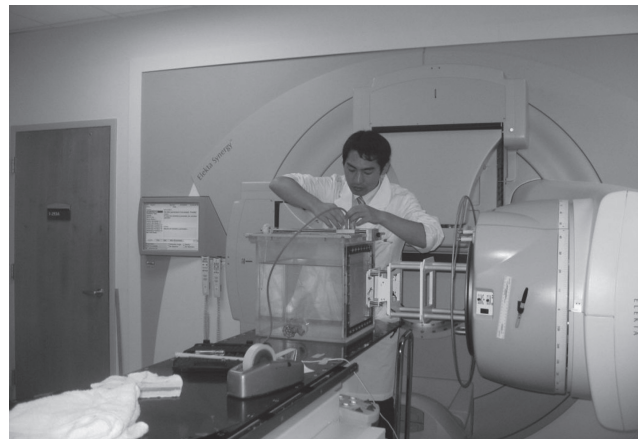


Photo 1 電子線出力測定で電離箱線量計の位置を調整する筆者
UMMCでは側方入射法が採用されていた。

治療計画については、放射線腫瘍医によってコントロールされた段階からかわり、放射線腫瘍医が作成した治療オーダーに記述されている線量制約を満たすように作成する。特に IMRT の治療計画では細かい線量制約が設定されているため、治療計画作成に時間を要するとともに、照射前には正しい線量が投与されるかの検証が行われる。IMRT 検証では電離箱線量計を用いた絶対線量測定とフィルムを用いた相対線量測定が行われていた。米国や欧州における IMRT 検証の方法は既に複数の論文によって報告されており、私が IMRT 検証を行うときもこれらを参考にしている¹⁻²⁾。UMMC の手順もこれらとほぼ同様であったが、評価の際には必ずしも γ 解析を行うわけではなく、線量プロフィールや線量誤差ヒストグラムでの評価を利用して担当する物理士によって許容値を超えていないかの判断がなされていた。

オンコール物理士業務は交代で担当されており、週に1回程度割り振られていた。業務としては、治療計画が完了した患者の照射前の確認、小線源治療での照射前のサーベイメータによる線量測定および機械の動作不良などの問題に対する対処である。オン

コール担当日は頻繁に各現場に呼ばれるため、忙しい一日となる。

研究については、おもに臨床業務に即した研究内容が実施される。また、全業務のうちでどれくらいの割合で研究に従事できるのかは契約での Duty 率によって決まる。例えば臨床 90%、研究 10%という契約ならば研究に費やすことのできる時間は少ないが、逆に臨床 50%、研究 50%という契約ならば業務の半分を研究に費やすことができる。研究の Duty 割合が高い物理士は、研究成果を発表することが重要である。実際に、医学物理室の前にはその物理士の研究論文や学術発表ポスターが多く掲示されていた。多くの物理士はおもに臨床業務を主体としており、週に1度設けられた研究日に研究を実施していた。教育に関しては医学物理レジデントや医学物理学生に対して臨地教員としての技術指導や、大学院生の講義を持っていれば授業も実施する必要がある。

しかし、これらは大学に勤務する医学物理士としての側面であり、民間病院に勤務する臨床医学物理士の場合は、100%臨床業務に設定されている場合が多い。

4. 放射線治療行程での複数の確認作業の存在

すべての放射線治療で共通することは、治療決定から照射完了までの治療行程中にいくつかの確認作業があるということである。具体的には頸部対向二門照射を例にとると、治療決定時に腫瘍医と看護師のサイン、治療計画オーダ時に腫瘍医のサイン、治療計画立案完了時に線量計算士(治療計画者)と腫瘍医および物理士(第三者的立場)のサイン、MU 独立計算時に線量計算士(実施者)と物理士(第三者的立場)のサイン、それらの書面をすべて確認後に腫瘍医の承認サインが記述されてようやく治療開始となる。また、照射時の照合では腫瘍医の確認が必要であるし、治療完了時には治療技師と腫瘍医のサインが必要となる。また、治療実施中にも物理士による週間チャートチェックによって間違いがないことが確認されている。このように放射線治療行程のなかで確認の機会が多く、必ず第三者的立場での確認が存在していた。照射が複雑化すれば確認の機会はさらに増え、また確認項目も多く設定されていた。確認作業は事故を未然に防ぐためには有用であることは間違いないが、高精度照射では多くの確認作業を要するため、照射にいたるまでに時間がかかることは免れない。しかしながら、先にも述べたように米国では完全に分業化されており、患者照射完了までの一連の作業を最初から最後まですべてみる職種は存在しない。治療行程中に一番確認作業が多いのが腫瘍医で、一番患者と接点があるのが治療技師であるが、腫瘍医は治療計画の大半を

物理士もしくは線量計算士に任せているし、治療技師は照射と CT 撮像以外には関与しない。したがって、各患者の治療行程を正しく伝達するには多くの確認作業が必要であるし、実施事項の記録を残して第三者的立場での確認を行うことで安全を担保しているのだと感じた。この体制は治療完了までの手順を多くするが、客観的に物事を判断できることや、複数職種が存在するなかで誰がその患者にかかわっても進捗状況を簡単に把握できるという利点がある。そしてこの作業を円滑にしているのが患者照合システムであり、日本ではあまり使うことのない機能(ICD コード算定、チャートチェック、承認システムなど)もフルに活用されていた。患者照合システムには実際の治療計画のみならず、QA の記録や確認作業の実施記録も書面をキャプチャ(PDF 化)し保存されていた。

5. ミネソタ大学での研究

私に与えられたミネソタ大学での研究テーマは強度変調回転照射(VMAT)の検証におけるポリマーゲルを用いた三次元線量分布評価である。IMRT や VMAT のような高精度照射では、小照射野の形成および積算によって複雑な線量分布を形成するために治療前の検証作業が必要となる。ここでいう検証とは実際の照射計画に沿ってファントムに対して照射を実施し、その測定値を治療計画装置の計算値と比較することによって正しく線量が投与されているかを確かめる作業である。当初はポリマーゲルのみが対象であったが、研究の打ち合わせをしていくなかで、実測での比較のために radiographic film(KODAK: EDR2) および radiochromic film(EBT2)での評価を加えることとした。そしてこれらの研究計画は医学物理室スタッフやレジデント、学生が参加するセミナーで発表し討議を行った(Photo 2)。

研究を始めるにあたって、まず私が行ったことは大学に新規導入されたフラットベッドスキャナの接続およびコミッションングであった。私はスキャナの平坦度・階調度・色再現性および取得安定性の評価を行い、EDR2 および EBT2 のスキャンを行うにあたり問題がないことを確認した。実験に関して UMMC では VMAT を行っていないため、UMMC から南西に 35 マイルほど離れたところにある Ridgeview Medical Center (RVMC) で照射を行うことになった。RVMC は田舎の民間病院であるが Varian 社製 Clinac iX が導入されており、SBRT や IMRT をはじめ VMAT といった高精度放射線治療が行われていた。われわれは RVMC で医学物理士として働く Ryan と意見交換をしながら実験を進めていった。Ryan と症例を検討した結果、われわれは RVMC にて VMAT 照射を行った患者の

なかから2症例を選別し、両症例についてポリマージェル、EDR2 および EBT2 を用いた線量分布評価を行うこととした。

ポリマージェルの線量応答を取得する方法として、MRI を撮像し R_2 値を算出して線量校正曲線を作成する方法を採用した。われわれは撮像のためにミネソタ大学内の MR 研究棟へ移動し、3 T の研究用 MRI 装置を用いてマルチエコーシーケンス(CPMR: Carr-Purcel-Meiboom-Gill)を利用して T_2 マッピングを行い、得られた R_2 値から線量分布に変換した。これらの解析には Watanabe 教授が作成されたオリジナルのソフトウェアを用いた。研究結果の詳細はこの文面では述べないが、VMAT のような可変パラメータの多い照射では全門検証の評価が重要とされるなかで、ポリマージェルシステムを用いた三次元線量分布評価は有用であると結論できる。実際にはコストや時間的制約、運用的問題など課題があるため、依然として議論する余地があるが、これらの点は今後も研究を継続していければと考えている。

6. ミネソタ大学留学を通しての感想

私は留学期間中、医学物理士という身分で滞在させていただいたが、UMMC では職制にかかわらず自由な立場で研修をさせていただいた。各職種の仕事を自分に置き換えてシミュレーションすることや、日本ならばどのように対処するかということを考えながら研修を行った。その代わり情報収集のための最低限の英語能力は必要であったが、放射線治療部門のスタッフの方々は私の拙い英語にも一つ一つ丁寧に答えてくださった。多くの職種と交流ができたことは私にとってとても価値のあるものだと思っている。

1 カ月という滞在期間は、研究の遂行という側面だけで考えると十分ではないかもしれない。実際に私は研究達成目標を完遂できずに、研究の半分は日本に持ち帰ることとなった。しかし、日本で行っていた自らの研究との接点や自分の足りない部分を肌で感じられたし、研究に際して新しい視点を持つことができたという点では収穫の大きいものであった。そして何よりも特筆すべきは、日米間での放射線治療に対する取り組みの違いや各職種の役割を体感し、治療技術に大きな差はないということや、職制の違いはあっても放射線治療を安全かつ正確に行おうとする姿勢は



Photo 2 セミナーで研究内容について討議する筆者
拙い英語でも自分の意見を相手に伝えることは重要である。

同じであることが確認できたことである。私はむしろ患者照射手技での細かい配慮は日本の方が行き届いていると感じたし、日々の品質管理業務での手技や数値定義は日本の学会の方が詳細に論議されている。これは米国が欠落しているわけではなく、日本の繊細さという文化の結果であり、ニーズの違いであると思われる。実際に私が UMMC のスタッフと放射線治療に関して討議をするなかで共感することは多くあったし、文化や教育体系・職制が異なっても同じ放射線治療のフィールドにいるということを感じることができた。私は今後も可能な限り海外学会などに参加して情報を収集していきたいし、今回の留学で知り合えた方々と交流を続けていければと思っている。

最後に、滞在中に多くのサポートをしてくださった Yoichi Watanabe 教授に深く感謝いたします。そしてこのような素晴らしい機会を与えてくださった日本放射線技術学会会長 小寺吉衛先生、放射線治療分科会会長 保科正夫先生をはじめ、すべての放射線技術学会会員の皆様、また私を受け入れてくださった UMMC 放射線治療部部長 Dr. Dusenbery、物理室室長 Dr. Gerbi をはじめ、放射線治療部門スタッフの方々に深く感謝いたします。

学会ホームページ(<http://www.jsrt.or.jp/>)にも掲載しています。

参考文献

- 1) Palta JR, Liu C, Li JG. Quality assurance of intensity modulated radiation therapy. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2008; 71(1 Suppl): S108-112.
- 2) Mijnheer B, Georg D edit. ESTRO booklet No.9: Guidelines for the verification of IMRT. Brussels: ESTRO, 2008.