健康文化　16 号
1996 年 10 月発行

健康文化

私のさまざまな出会い

田伏　勝義

名大医療技術短期大学部に勤務するようになって、もう半年にもなろうとしている。それまでは埼玉県立がんセンターの放射線治療部物理室に所属していた。ここでは、職員になった当初は設立当時の準備室しかなかった。巨大都市東京の医療機関に頼る医療過疎の汚名を返上しようとする一つの政策として計画されたものであった。地元の医師会の反対に計画はかなり修正されたが、大宮から十数キロ離れた非常に自然環境の良い、周りは田んぼと栗林である上尾市と北足立郡伊奈町の境界に設立された。がんセンターが開院するまで、物理室長として上司になる予定の伊藤進先生がいる群馬大学の放射線医学教室で、研修生として半年間お世話になった。研修生になってしばらくして永井輝夫先生が教授として教室にこられ、外国に長く居た先生は、日本で物理屋がもっと活躍するべきだとよく言っておられた。私の覚えているかぎり、永井先生から聞いた計画で実現しなかったのはただ一つだけであり、ベビーサイクロトロンの設置から、診療棟の立て替えまで数々のことが実現したことには驚かされた。

半年が過ぎ、千葉県の稲毛にある放医研（放射線医学総合研究所）の臨床研究部の飯沼先生にご指導を受けることになった。私に与えられた課題は、コンピュータの医学へ応用であり、コンピュータを重視していた梅垣先生が部長でおられた。飯沼研究室には、当時先生を含め、中村、松本、遠藤、須田先生らの５人がおられ、皆さんそれぞれ当時から第一線で活躍しておられた。思い出に残る人で、もう故人となられた須田先生は医師であるが、物理や数学が好きで、二人で卓球台を黒板代わりにして４時間近く議論したことがあった。飯沼研究室の抄読会には、実にいろいろな方が参加され、医師には梅垣、有水、福田、荒居、舘野、恒元先生など、物理関係には、放医研以外では、現在は福島医大にいる土橋さん、千葉県がんセンターの秋山さん、筑波大の早川さんに私などが参加した。この間、物理部の田中栄一先生の研究室の抄読会にも飯沼先生とともに参加させて頂いた。田中先生以外の人たちには、飯沼先生、野原さん（現在は国際医療福祉大学）、富谷さん、石原さん（現在は群馬県立医療技術短期大学）、山本さん、村山さんらがおられた。半年間の研修が終わるに当たり、

抄読会でその報告を兼ねて話すことになり、田中先生と議論し、種々の質問を受けた。数年前、この時のことを含めて富谷さんが、あの頃は私にもっと元気があったと数人で飲んだ時に言っていた。

がんセンターが開院すると、室長が治療、私がＲＩ関係を担当することになった。ＲＩ担当の医師は、群大からこられた中島先生が中心であったが、非常勤として、現在は東大におられる聖マリアンア医大の佐々木康人先生が指導に来られた。はじめの頃は、シンチカメラの特性を調べていて、位置分解能の解析に種々の関数を使用して、測定値の当てはめを行っていた。また、ＲＩ動態検査用プログラムを作成して、肺や肝臓のデータ処理に用いていた。この頃、伊藤室長から一つの論文を読むように渡され、これが最適化問題との出会いとなった。それは、Jayaraman が線形計画法で子宮頚癌の腔内照射のシミュレーションを行った Radiology に掲載された研究速報であったが、とても臨床に使用できるものではなかった。他の方法ではどうなるのだろうかという好奇心から、小線源治療（腔内照射、組織内照射）の最適化問題に手を染めることになった。放射性同位元素を患者体内に挿入するのが腔内照射、組織に刺入するのが組織内照射と言われ、腫瘍に設定した線量あるいはそれ以上のものを与え、正常組織の線量をできる限り少なくすることが重要である。

小線源治療の最適化を物理的な線量に限定して、視覚的な方法と論理的な方法に大別できる。視覚的な方法は照射条件を次々と変え、線量分布を描き最も良いと思われるものを探索する方法であり、人間が対話的に介在する。しかし、この方法では描かれた線量分布の最適の判断基準が曖昧になりやすく、治療医に精神的負担をもたらすとの意見が聞かれた。現在ではコンピュータを利用した線量分布の即時表示法が実際には用いられている。この方法の良いところは、実際に種々の照射条件に対する線量分布を描き、その中から治療医が確認して選ぶという基本的なことが守られることである。

論理的な方法で用いられるのは、最小自乗法、線形計画法、二次計画法などで、これらは数理計画法あるいはオペレーションズ・リサーチと言われる手法に含まれる。小線源治療に限れば、最小自乗法は選んだ部位に望まれる線量と計算で得られる線量の差を自乗したものを、各部位について和したものが最小になる照射条件を求める。この場合の照射条件は、放射能と照射時間の積である。この方法の長所は、連立方程式を一回解くだけなのでコンピュータによる計算時間は非常に短く、方法が簡単なので、卓上計算機でも容易に計算できる。しかし、望むべき線量を設定する複数の部位と線源配置によっては、解の中に負の照射時間が含まれることもある。負の時間で照射することは現実には不可

能で、線源配置を修正して、すべての解が正になる線源配置を探索することになり、これが最大の欠点となっている。作成した最小自乗法のプログラムは、伊藤室長が非常勤講師をしていた自治医科大学で、子宮頚癌の腔内照射に最初に用いられた。

線形計画法は制限条件と一次関数で表された目的関数からなり、設けられた制限条件を満たしながら、目的関数を最大にする変数（照射時間など）の正の値を決定する。これは、一種の逐次探索法であるが、ある論理に沿って最適解に早く達する方法である。最大にするものは、腫瘍内に選んだ各部位の線量の和の値であり、制限条件は各部位にゆるされる上限と下限の線量である。この場合の最も理想的な解は各部位に設定された上限の線量の値になることである。Jayaraman がシミュレーションで示したものは、配置された線源の照射時間に零のものが存在したり、下限の線量の値よりも少ない部位が生じたりしていた。そこで得た照射条件では、組織内に選んだ部位の線量はある程度満足するが、しかし、腫瘍全体の線量分布としてはとても臨床に使用できるものではなかった。この方法は、線量の値が同じになる部位を線で連結した等線量曲線を描き、その曲線上に数十点を選び、その点に線量を設定して計算する方法であり、得た照射時間による線量分布は必ずしも満足されるとは限らない。本来は、全体の線量分布を設定してこれをもたらす照射条件を求めるのが理想であるが、現実的には困難であり、線量分布の代わりに何個かの等線量曲線で代表させている。私の経験では、設定した制限条件のもとで、線量分布が物理的には実現し得ない分布であったり、解が得られても臨床には使用できないと思われることが度々あった。それは各部位の線量に設定された条件が厳しくて、これらの間で矛盾が生じたりしていたのである。しかし、計算時間が短いのと容易に使用できるので、一般には工夫をして用いられている様である。

二次計画法は制限条件と二次関数で表された目的関数からなり、最小自乗法の親戚とも言え、全く両方法で同じ解が得られることも少なくない。最小自乗法との違いは、線形計画法と同じく負の照射時間を得ることはない。また、工夫しだいで線形計画法では不可能なこともでき、その一つは各部位に設定した線量の上下限の幅を固定すると物理的な解が得られないことが多くて実用にならないが、線量の上下限の幅の自乗を目的関数に取り込むことで融通性をもたせることができる。言い換えると制限条件は固定したものと融通のきくものが設定でき、実用化に伴う困難の一つが取り除かれたといえる。

最適な照射には、線量の値、照射回数、病巣に合わせた線量分布などの設定が不可欠であるが、それらをもたらす照射条件（線源の位置、照射時間）を得

ることも重要である。治療医により模擬線源を線源支持器とともに最適な位置に配置された後で照準写真をとり、これを基に最適な線源の配置を決め、線量分布を設定し、照射時間を求める。その為、飯沼先生から最適な線量分布を考えるように指示されたが、私自身は考えあぐねているうちに、しびれをきらした飯沼先生からマンチェスター・システムの線量分布を採用しようという話があった。本来は、個々の患者さんに適した線量分布が設定できれば理想的であるが、現実的には困難であり、その点マンチェスター・システムは古くから使用されている実績のある治療方法であり、まずはこの分布を採用することになった。この線量分布のうち、臨床的に意味づけられた等線量曲線を関数化して用いることになった。放医研で何度も荒居、飯沼、中村先生らをふくめて話し合いが重ねられ、線量と線源配置などは長年研究してこられた荒居先生の指示に沿うものとなった。作成したものを放医研に納入される治療計画装置ＭＯＤＵＬＥＸに組み込み、ＭＯＤＵＬＥＸ本来の機能とリンクして使用することになり、その作業に取りかかったが、実際に終了するまでには数年を費やした。これを埼玉県立がんセンター、放医研、兼松との合同製作のＲＡＬＳ最適化システムとして提供されることになった。このシステムは、子宮腔内にできる限り良い配置で設定された模擬線源の照準写真から、模擬線源の位置を入力するだけで、実際の線源の配置と、最適な線量分布を設定し、それをもたらす照射時間を求め、線量分布を描き治療医に提供するものであり、医療支援システムの一つと言える。経験の浅い医師には重宝であろうと推測されたが、実際に臨床に役に立っていると若い治療医から直接聞かされたときには、この仕事が机上のものに終わらなかったことに何か感じるものがあった。ＲＡＬＳ最適化システムの利用者でＲＯＰ研究会を構成しているが、その会長を小幡先生が現在務めておられる。

２０数年前に、前越先生や西沢先生と学会の宿舎の大部屋で一緒だったことが、すでにこの原稿を書く第一歩を踏み出していたのかもしれないと今は思っている。

（名古屋大学医療技術短期大学部教授・診療放射線技術学科）